

# Wissenschaft – eine Hilfe für „homo sapiens (sapiens?)“

Eugen Roth hat sich „die Krone der Schöpfung“ angeschaut und er konstatiert:

*„Wie wäre die Welt geworden gut,  
hätte Gott am sechsten Tag geruht.  
Er wär nur kommen bis zum Affen,  
der Mensch wär blieben gänzlich unerschaffen.“<sup>1</sup>*

Nun gibt es uns aber. Machen wir das Beste daraus, einer der Versuche hierzu ist die Wissenschaft. Sie „umschleicht“ ihre Objekte mit Theorien und erhärtet oder verwirft ihre Vermutungen durch Experimente. Die – von uns allen bemerkte – Schönheit der Natur läßt sich nicht messen. Welche Erkenntnisse ließen sich aus ihr auch schon ziehen? So steht die Schönheit seit eh und je unter Verdacht, ihr Genuß sei ein Luxus für Reiche. Sie sei weder wahr noch nützlich. Das sind Halbwahrheiten. Ohne Schönheit wird der Mensch böse und eng. Eine Ahnung von Balance und Harmonie zeigt uns der Blick auf die Formenvielfalt der unbelebten Natur. Dr. Alfred K. Schuster brachte, gemeinsam mit dem Rechenzentrum, eine Spiegelung und Ergänzung der Clausthaler Mineralogischen Sammlungen ins Internet (S. 4).

Gesammelt wurden die insgesamt 120.000 Gesteine und Minerale natürlich nicht um ihrer selbst willen. Mineralische Rohstoffe sind das Alphabet unserer Zivilisation, aus ihnen stellen wir unsere Werkstoffe her. Neue Werkstoffe sind oft der Schlüssel zu neuen Produkten und verbesserter Prozessführung. Die Institute für Metallurgie (Prof. Dr.-Ing. G. Borchardt) und für Physik und Physikalische Technologien (Dr. W. Maus-Friedrichs) kooperieren in den Entwicklungsarbeiten für eine Lambda-Sonde neuen Typs. Um den Schadstoffgasen in Autoabgasen weiter zu reduzieren, müßte der Sauerstoffsensor möglichst nahe am Verbrennungsort, den sehr heißen Zylindern, in miniaturisierter Form angebracht werden können. Das geht mit der herkömmlichen Lambda-Sonde auf der Basis von Zirkoniumdioxid nicht. Daher wird die Eignung von Strontiumtitanat als Sauerstoffsensor untersucht (S. 31).

Wissenschaft kann die Gesellschaft nicht aus der Nötigung entlassen sich zu entscheiden, in welche Richtung sie sich entwickeln möchte, denn aus Tatsachenerkenntnis folgt allein ein, möglichst präzises, Benennen von Entwicklungsperspektiven und Alternativen. Wissenschaft kann aber äußerst hilfreich sein beim Auffinden relevanter Fragen und Probleme. Der Präsident der



Ein Lasersystem, das eingesetzt werden soll, um Grenzflächen mit einer Tiefenempfindlichkeit von nur wenigen Atomlagen zu untersuchen, ist am Institut für Physik und Physikalische Technologien in Betrieb genommen worden. Um Grenzflächeneigenschaften, die z.B. bei Halbleitermaterialien in der Mikroelektronik oder bei katalytisch aktiven Stoffen von entscheidender Bedeutung sind, mit Licht untersuchen zu können, werden in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Winfried Daum leistungsstarke Laserpulse aus Piko- und Femtosekundenlasern eingesetzt. Hier bei der Justage des Strahlengangs im Femtosekunden-Laserszillator, der Leiter der Arbeitsgruppe, Prof. Dr. Winfried Daum (im Hintergrund) und Physikstudent Bastian Manschwetus (vorne rechts).

Bundesanstalt für Rohstoffe und Geowissenschaften, Prof. Dr. Dr. h.c. Wellmer, skizzierte in seinem Vortrag die Entwicklung der Rohstoffversorgung der europäischen Nationen von der Antike bis zur Gegenwart. Sein Fazit: Rohstoff- und/oder Energiemangel werden nicht die entscheidenden Probleme der Menschheit sein sondern die Erosion fruchtbaren Bodens und die Knappheit sauberen Wassers in vielen Entwicklungsländern (S. 6–12).

Die Historikerin Dr. Küpper-Eichas untersuchte den Niedergang des Montanreviers Harz für die Zeit von 1910 bis 1930. Sie zeichnet nach wie schließlich alle Versuche, eine friedliche wirtschaftliche Alternative zum versiegenden Bergbau zu finden, fehlschlügen. (S. 74)

Im Rückblick zeigt sich die kurzfristige Problemlösung, die von den Nationalsozialisten favorisierte Munitionsfabrik, als Teil der Katastrophe. Wenige waren damals so klug. Weder ist aus natur- und ingenieurwissenschaftlicher Einsicht eine (zwingende) Orientierung ableitbar, noch ist dies logisch deduktiv aus historischer Erkenntnis möglich. Das Beste, was wissenschaftliche Erkenntnis kann, ist, Alternativen aufzuzeigen. „Was Wissenschaft uns lehrt, bedarf offenbar noch der Besinnung durch das, was man am besten Weisheit nennen könnte. ... Weisheit scheint unter Menschen knapp, doch fast so demokratisch verteilt wie Schönheit und Charakter.“<sup>2</sup>

Ihr,

*Eugen Roth*

<sup>1</sup> Eugen Roth, Lob der Fünftagewoche

<sup>2</sup> Hubert Markl, Wissenschaft im Widerstreit, Weinheim 1990, S. 202.



Foto: Stefan Sobotta, Goslar

In vielen Bereichen der Technik spielt die Oberfläche eines Materials eine große Rolle. So untersucht Dipl.-Chem. Anissa Gunhold in einem interdisziplinären Projekt der Institute für Metallurgie und Physik und Physikalische Technologien den Mechanismus der Bildung von Zweitphasen auf Strontiumtitanatoberflächen. Strontiumtitanat findet als schneller Sauerstoffsensoren bei hohen Temperaturen Anwendung, zum Beispiel im Bereich der Abgas-Katalyse.

## RUBRIKEN

Editorial	1
Campus	4
Forschung	27
Personalien	70
Geschichte	80
Nachrichten	83

### METEORITEN UND BIERDOSEN

Hochenergetische Synchrotronstrahlung ist ein neues, sehr vielseitiges Instrument zur Materialanalyse und der zerstörungsfreien Prüfung von Werkstoffen aller Art. Seit der Entdeckung der Beugung von Röntgenstrahlen im Jahre 1912 hat sich die Röntgenfeinstrukturanalyse zu einer unverzichtbaren Methode der Materialuntersuchung entwickelt. Der vorliegende Aufsatz, der sich mit Gefügeuntersuchungen von Eisen befasst, würdigt damit das Lebenswerk von Günter Wassermann, früherer Leiter des Instituts für Metallkunde und Metallphysik.

Seite 27

### RAPID TOOLING

Dem generierenden, schichtweisen Fertigungsverfahren des Rapid Tooling kommt im industriellen Einsatz eine immer größere Bedeutung zu. Dies liegt im Wesentlichen an der Möglichkeit, sehr schnell komplexe Strukturen aufzubauen. Die Qualität der erzeugten Bauteile hängt dabei von der Güte jedes einzelnen Verfahrensschrittes ab. An einer lasergesinterten Handyschale werden beispielhaft die Verfahrensschritte verfolgt.

Seite 37

### ALTBERGBAU

In den alten Lagerstättenrevieren des südlichen Ruhrgebietes, des Siegerlandes, im Erzgebirge wie auch im Harz, sind viele der ältesten bergbaulichen Aktivitäten nie vollständig dokumentiert worden. Die oft oberflächennahen Hohlräume ehemaliger Schächte oder Stollen können aber fatale Folgen haben: In einem nordrhein-westfälischen Wohngebiet entstand Anfang 2000 schlagartig ein mehrere Zehner Meter tiefer Krater.

Die seit vielen Jahren an diesen Fragen wissenschaftlich arbeitenden Institute der TU Bergakademie Freiberg und der TU Clausthal haben sich deshalb zusammengetan, um in einer konzentrierten Anstrengung den Sachverstand aller Fachleute aus Forschung, Industrie und Behörden zur Lösung dieser Fragen zusammen zu bringen.

Seite 42

### ABFÄLLE IN SALZLAGERSTÄTTEN

Kardinalfrage der Endlagerung: Sind Salzstöcke dichte Lagerstätten? Nachgewiesene uralte Gaseinschlüsse beweisen, dass diese Gase nicht – wie bisher angenommen – nach und nach aus dem Salzstock entweichen. Es steht also zu befürchten, dass der in allen ehemaligen Bergwerken korrosiv gebildete Wasserstoff einen so hohen Druck aufbauen könnte, dass dies zu Risiken im Salzstock führt.

Seite 48

### PULSENDE VERDRÄNGUNG

Eine wichtige Aufgabe bei der Lösung von grundbautechnischen und

bodenmechanischen Problemen ist die sichere Gestaltung von Böschungen. Ein aktuelles Beispiel hierfür ist die Verdichtung setzungsfließgefährdeter Kippen und Kippenböschungen in Braunkohlentagebauen. Am Lehrstuhl Tagebau und Internationaler Bergbau wird ein neues Verfahren entwickelt, dessen Arbeitsweise auf der periodischen Expansion und Kontraktion von flüssigkeitsgefüllten, elastischen Membranen basiert.

Seite 55

### „ST. HOLZ“ BRAUCHT UNTERSTÜTZUNG

Das Wahrzeichen Clausthals, die Marktkirche, ist in Gefahr. Aufgrund einer im Jahre 1973, nach den Regeln der Kunst erfolgten, aber nicht Oberharz gemäßen Neueindeckung des Daches dringt seit vielen Jahren Regenwasser in das Gebäck. Die Folge: 60 Prozent der Eichenschwellen sind verfault, Eckposten sanken ab. Wasserstau und Unterspülungen brachen das Fundament. Der Giebel droht einzustürzen. Der Förderverein informiert über das Ausmaß der Schäden und bittet um finanzielle Hilfe.

S. 25–26

### FACHBUCH ZUR KOHLEVERBRENNUNG

Prof. Dr.-Ing. Jacek Zelkowski faßt seine Forschungsergebnisse zur Charakterisierung und Verbrennung von Kohlen in Kraftwerken in einem rd. 500 Seiten starken Kompendium, gerichtet an den in der Praxis tätigen Ingenieur, zusammen.

S. 66

#### IMPRESSUM

##### Herausgeber

Der Präsident der Technischen Universität Clausthal, Prof. Dr. Ernst Schumann (Adolph-Roemer-Str. 2A), und der Vorsitzende des Vereins von Freunden der Technischen Universität Clausthal, Prof. Dr.-Ing. Dieter Ameling (Osteröder Straße 8), beide in 38678 Clausthal-Zellerfeld.

##### Verlag und Anzeigen

VMK  
Verlag für Marketing & Kommunikation  
GmbH & Co.KG  
Faberstraße 17, 67590 Monsheim  
Telefon: 0 62 43 / 9 09-0  
Telefax: 0 62 43 / 9 09-400  
www.vmk-verlag.de

##### Titel & Layout

Druck & Verlag Erdelmeier  
Wasserturmstraße 1, 67549 Worms  
Telefon: 0 62 41 / 9 58 52-0  
Telefax: 0 62 41 / 9 58 52-33

##### Redaktion

Jochen Brinkmann, M. A.  
G.-Rauschenbach-Straße 4  
Telefon: 0 53 23 / 72 77 55  
Telefax: 0 53 23 / 72 77 59  
Dr.-Ing. Lothar Schmidt  
(Betreuung der Autoren)  
Graupenstraße 3  
Telefon: 0 53 23 / 72 21 41  
Telefax: 0 53 23 / 72 22 03  
(beide in 38678 Clausthal-Zellerfeld)

TU Contact erscheint als Zeitschrift der TU Clausthal. Bezugspreis (für Mitglieder im Beitrag enthalten): 3,00 € zuzüglich Versandkosten.

# Das Clausthaler GeoMuseum im Internet



Basaltsäule.

Foto: Dr. Alfred K. Schuster

Seit mehr als 100 Jahren ist die Clausthaler Mineraliensammlung für viele Sachkundige und mineralologisch Interessierte ein Geheimtip; sie nimmt mit einem Bestand von mehr als 120.000 Stücken in der Bundesrepublik Deutschland eine Spitzenposition ein. Herausragend ist ihre Bedeutung auf dem Gebiet der Erze und nichtmetallischen mineralischen Rohstoffe. Sie bieten die Basis für zahlreiche vergleichende wissenschaftliche Untersuchungen und stehen Wissenschaftlern der ganzen Welt zur Benutzung zur Verfügung. Im Juli 2001 wurde, im neuen Gewand, die Geosammlung der TU Clausthal mit ihren weltweit bekannten Mineralogischen Sammlungen und den neu eingerichteten Abteilungen Erdgeschichte – Paläontologie und Naturgeschichte des Harzes, die im Hauptgebäude der TU Clausthal untergebracht sind, neu eröffnet. Das virtuelle Pendant ermöglicht Fernbesuche; es ist einzigartig. Nirgendwo sonst im deutschsprachigen Netz wird in dieser Detailtiefe und mit einer solchen Schönheit der Bilder über ein geologisch-mineralogisches Museum informiert.

Exponate aus den Bereichen

- Mineralogie, mit den Bereichen Minerale und Gesteine
- Geologie, mit den Bereichen Allgemeine Geologie und Paläontologie
- Harz, mit den Bereichen Geologie des Harzes und Historischer Bergbau

werden mit Fotos und Zeichnungen vorgestellt. Kurze, verständlich gehaltene Fachtexte vermitteln weiterführende Informationen zu den gezeigten Objekten.

Auf die Frage, warum ein GeoMuseum im Internet, schreibt Dr. Alfred Schuster, gemeinsam mit dem Rechenzentrum geistiger Vater des Projekts: „Steine und Minerale haben etwas Schönes, Reizvolles an sich. Viele Minerale stehen der Alpenflora an Schönheit und Pracht nicht nach. Dieses wird sehr plastisch im Rumänischen wiedergegeben, denn die Bergeleute Siebenbürgens und des Banats haben schon vor vielen hundert Jahren schöne Mineralstufen „Blumen der Bergwerke“ (flori de mina) genannt. Man muss nur aufmerksam hinsehen. Schnell werden einem die feinen Unterschiede auffallen und bewusst. Farbunterschiede und Strukturen im Felsen, die darin vorkommenden Falten und Klüfte, werden sichtbar. Darauf aufmerksam gemacht, sieht der Betrachter scheinbar Verborgenes und wundert sich. Nicht selten erwecken Gesteinsgefüge den Eindruck, als sei der starre Fels einmal ein weicher Teig oder zäher Brei gewesen. Es scheint, als sei das Gebirge von Riesen Händen geknetet und dann zu Stein gebacken worden.

An anderen Stellen liegen versteinerte Muscheln und Schneckengehäuse, manchmal auch Ammonshörner, oder nur Abdrücke von Blättern längst verblühter Pflanzen, von Fischen und

Lurchen. Seltener sind Knochen von Reptilien, Vögeln und Säugern, die vor vielen Millionen Jahren gelebt haben. Den Geowissenschaftlern ermöglichen diese Funde, einen Teil unserer Vergangenheit zu rekonstruieren. Wir müssen nur lernen hinzuschauen, denn dann wird vieles sichtbar, was dem ungeübten Auge verborgen bleibt.

Doch nicht alle können oder wollen das. Sie gehen lieber in Museen oder Sammlungen und genießen dort das Lichtspiel der form-schönen Kristalle oder erheben staunend den Blick zu den meterhohen Skeletten der so faszinierenden Dinos. Aber auch ein solcher Besuch erfordert Zeit und meist auch eine längere Anreise. Aus diesen Überlegungen entstand die Idee eines GeoMuseums im

Internet, dessen Sinn es ist, Interessierte an der Entwicklungsgeschichte der Erde und des Lebens mit Hilfe der Informationstechniken in einem „Museum“, einer „Sammlung“, teilhaben zu lassen, ihnen die Möglichkeit zu geben, sich all das ins Haus zu holen, um sich mit Muße, ohne Zeitdruck in die geologische Vergangenheit zu versetzen. Das GeoMuseum der TU Clausthal soll auch einen Einblick in die Entwicklungsgeschichte des Harzes geben, in seinem ehemaligen Reichtum an Erzen und Metallen und, daran geknüpft, einen Einblick in die Arbeitswelt der Harzer Berg- und Hüttenleute. Das Geomuseum ist vor allem für Lernende gedacht, für Schüler und Studierende, für Erwachsene, die nachholen wollen, was sie in ihrer Jugend nicht verwirklichen konnten, und für Sammler von Mineralien und Fossilien. Es soll jedoch auch Kennern, die mal unbeschwert von beruflichen Anforderungen Spaß haben wollen, die Schönheit ihrer Arbeitswelt erschließen.

Internetadresse:

<http://geomuseum.tu-clausthal.de>



# Rohstoffe – Global

F.-W. Wellmer und M. Dalheimer

Täglich lesen und hören wir den Begriff der Globalisierung. Die Märkte der Welt wachsen zusammen in einen großen umfassenden globalen Markt und führen damit zu einem dramatischen Wettbewerbsdruck. Schließlich treffen sich alle Konkurrenten überall zur gleichen Zeit. Um in diesem Ein-Markt-System konkurrieren zu können, muss man nach Meinung vieler Wirtschaftsführer Nummer Eins oder Zwei sein, schon als Nummer Drei wird es schwierig, Gewinne zu machen. Die ganze Welt ist ein Produktionssystem: Teil 1 wird in Land A produziert, Teil 2 in Land B, und alles im Land C montiert. Entfernungen spielen kaum noch eine Rolle. Getriebe für in Deutschland montierte Autos kommen aus vielen Ländern, so z.B. auch aus Australien. Darüber hinaus ist eine Strukturveränderung im Welthandel dahingehend zu beobachten, dass etwa ein Drittel gar nicht mehr zwischen verschiedenen Firmen abwickelt wird, sondern innerhalb der globalen Wertschöpfungskette eines Konzerns.

Dieser neue sich verstärkende Trend der Globalisierung trifft so nicht auf die Rohstoffwelt zu, denn hier galt er schon immer. Zur Rohstoffproduktion gehörte von Anfang an der Rohstoffhandel, selbst in der Steinzeit gab es Handel über große Entfernungen. Rohstoffe werden aus Lagerstätten gewonnen. Lagerstätten treten rohstoffspezifisch in gewissen geologischen Einheiten auf oder sind an geologische Strukturen geknüpft, die in der Regel mit den Verbrauchern dieser Erde nicht oder nur wenig korrespondieren. Also müssen die Rohstoffe zum Verbraucher transportiert werden. In der Rohstoffwelt ist die Produktion nur die eine Seite der

Medaille, der Rohstoffhandel immer die andere. Rohstoffe ohne Markt haben keinen Wert. Harte Steine für Werkzeuge in der Steinzeit waren z.B. Feuersteine aus der Kreide oder vulkanische Gläser wie Obsidiane, die im letzteren Fall z.B. von der Insel Milos nach Kreta exportiert wurden.

Woher kennen wir den frühen Rohstoffhandel? Häufig aus der Ladung von Schiffswracks. Ein berühmtes Wrack ist z. B. das von Ulu Burun an der Südküste von Anatolien, datiert auf 1300 v. Chr., ein Schiff, das möglicherweise auf dem Wege von Troja nach Ägypten war. Es hatte u.a. die Rohmaterialien für Bronze an Bord, nämlich Kupfer und Zinn. Das Kupfer kam entweder von Zypern oder Sardinien, das Zinn möglicherweise aus Lagerstätten so weit entfernt wie Kasachstan. Das war Handel über die ganze damals bekannte Welt, also schon damals ein globaler.

Machen wir einen zeitlichen Schritt von über 3.000 Jahren in die 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts. Es war die Zeit der schnellen Segelschiffe, der Clipper, die zwischen Australien und Neuseeland und Europa, also praktisch um die halbe Welt segelten. Studiert man die Ladelisten, stellt man fest, dass Metalle wie Blei und Zink nach Australien transportiert wurden, Rohstoffe, bei denen Australien heute ein großer Exporteur ist.

Alle diese Metalle sind relativ hochwertige Produkte. Die wesentliche Änderung in unserer modernen globalen Welt ist, dass bedingt durch die Revolution im Massenguttransport sich auch der Markt für relativ niedrigwertige Rohstoffe

globalisiert hat. Ein gutes Beispiel ist Eisenerz. Die Tonne Eisenerz kostet heute ca. 20 US-\$. Bis etwa 1950 kamen 50 % der in Deutschland verhütteten Eisenerze aus Deutschland selbst, die anderen 50 % aus dem nahen Ausland, wie Schweden oder Spanien.

1960 gab es noch 73 Gruben in Deutschland mit einem durchschnittlichen Eisenerz-Gehalt von knapp 34 %, die wirtschaftlich arbeiten konnten, da sie einen Frachtkostenvorteil gegenüber den ausländischen Gruben hatten. Diese lieferten noch etwa 15 % des deutschen Eisenerzbedarfs. Wie **Abbildung 1** zeigt ist dieser Anteil total verschwunden. Selbst Gruben in der direkten Nachbarschaft von Hütten wie in Peine und Salzgitter mussten geschlossen werden.

Eisenerze, die heute aus Brasilien oder Australien nach Deutschland exportiert werden, haben einen Eisengehalt von 65 % und höher. Noch 1960 erfolgte der Rohstoff-Transport zu 100 % mit Schiffen von weniger als 68.000 Tonnen Ladekapazität, die heute praktisch überhaupt nicht mehr zum Einsatz kommen. Mehr als 25 % des Eisenerzes werden heute mit Schiffen über 200.000 Tonnen Tragfähigkeit transportiert. Die „Berge Stahl“ mit 360.000 Tonnen ist der z. Zt. größte Erzfrachter, der ausschließlich zwischen Brasilien (Ponta da Madeira) und dem Europort bei Rotterdam pendelt. Er befördert jährlich ca. 4 Mio. Tonnen Eisenerze von der brasilianischen Großlagerstätte Carajas für die Ruhrhöfen nach Europa.

Diese Globalisierung niedrigwertiger Rohstoffe geht weiter auch zu Rohstoffen von noch nie- ▶

Anzeige

## Einfach überzeugend, Ihre Präsentation!

- Mehr Erfolg mit einer glänzenden Präsentation – das garantiert der **Fullservice** von ContiScript.
- Mit einer stimmigen **Konzeption** und einem **Grafik-Design**, das begeistert.
- Einladungen, Pressemappen, Handouts und vieles mehr drucken wir mit modernsten Möglichkeiten des **Digitaldrucks** - gerne auch von Ihren gelieferten Daten. Eine komplette **Weiterverarbeitung** rundet das Angebot ab.
- Noch Fragen?  
Gerne präsentieren wir Ihnen unsere günstigen Angebote.

Druckanfragen leicht gemacht unter  
**www.onlineprintportal.de!**

**ONLINEPRINT  
PORTAL**  
Das Online-Druckbusinessportal  
der Continental AG

ContiScript  
Service Unit der Continental AG  
Vahrenwalder Straße 9  
30165 Hannover

Telefon: (0511) 9 38-5 90 00  
Telefax: (0511) 9 38-5 90 01  
E-Mail: [contiscript@conti.de](mailto:contiscript@conti.de)  
<http://www.contiscript.de>

Ihr direkter Weg zu uns:  
<http://www.onlineprintportal.de>

Point of Design & Communication

**CONTI  
SCRIPT**

... Konzeption · Digitaldruck · Direktmarketing · Lettershop · Grafikdesign · Neue Medien · Übersetzungen · Warehousing ...

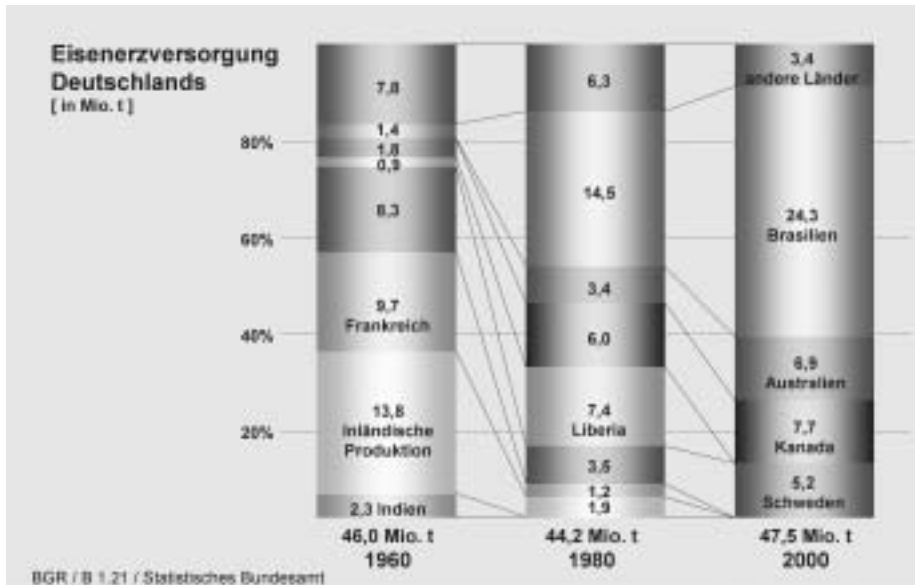


Abbildung 1: Veränderung der Exportstruktur bei der Versorgung deutscher Hütten mit Eisenerz.

drigerem Wert, z.B. Schotter und Splitte, die ca. 10 €/t oder gar weniger Erlösen. Von Glensanda aus, einem großen Steinbruch an der Küste Nordschottlands, werden niedrigwertige Splitte und Schotter bis in den Golf von Mexiko exportiert. Von diesem Steinbruch her kamen übrigens auch die für den Bau des Kanaltunnels benötigten Schotter, die ohne jeglichen Straßenanbindung nur auf dem Wasserweg transportiert wurden.

Wenn lokale Rohstoffmärkte immer mehr verschwinden, liegt es nahe zu schlussfolgern, dass wir auf dem Rohstoffsektor total vom Ausland abhängig sind. Das ist mitnichten der Fall. 80 % der Rohstoffe, die wir verbrauchen, werden immer noch in Deutschland gefördert. Das sind zum einen natürlich die großen Mengen von Baurohstoffen, die wir neben Energie zur Deckung unserer Primärbedürfnisse Wohnen und Transport benötigen. Aber auch neben der Gewinnung von Baurohstoffen gibt es in Deutschland immer noch eine signifikante Bergbauindustrie, wie **Tabelle 1** zeigt. Deutschland ist der weltgrößte Braunkohlenproduzent, bei Kaolin steht Deutschland an 2. Stelle, bei Kali und Steinsalz an 3. Stelle, während es bei der Steinkohle durch den Förderrückgang auf Platz 14 liegt.

Neben dieser Primärproduktion müssen als eigene Rohstoffe auch die angesehen werden, die wir nicht aus der Geosphäre gewinnen, sondern aus der Technosphäre, also die Sekundärrohstoffe. Deutschland ist ein führendes Land beim Metall-Recycling. Mit Ausnahme von Zinn lagen die Recyclingraten der letzten Jahre zwischen 32 und 58 % wie aus **Tabelle 2** zu ersehen ist.

Trotzdem müssen wir wertmäßig den größten Teil der Rohstoffe einführen. Im Jahre 2001 betrug unsere Rohstoffimportrechnung 123,2 Mrd. DM (~ 63 Mrd. €), davon entfielen ca. drei Viertel für Energieimporte: 59 % unseres Steinkohlebedarfs importieren wir, 78 % unseres Erdgas- und 97 % unseres Erdölbedarfes. Bis auf 2 % Nichtmetallrohstoffe wie Talk und Phosphat sind der Rest Metalle, die wir zu 100 % aus dem Ausland importieren.

Wenn wir unsere Importstatistik ansehen und auf Lieferländer hin überprüfen, so stellen wir fest, dass wir Kunde praktisch der ganzen Welt sind. Wir beziehen z.B. Kupferkonzentrate aus Papua-Neuguinea, Nickel aus Neukaledonien, Tantal aus Thailand, Aluminiumvorstoffe aus Guinea, Surinam oder Jamaika, um ein paar Beispiele zu nennen. Überträgt man die Recycling- und Importstatistik auf ein Flugzeug aus Aluminium oder für Stahl und Eisen auf ein einziges Auto, so sieht die Aufteilung so aus, wie sie in der **Abbildung 3** dargestellt ist.

Rohstoff	2001 [Tonnen]
Steinkohle	27.361.079
Braunkohle	175.364.780
Erdöl	3.444.300
(Erdgas [Mio. m³])	21.545)
Uran (U)	27
Torf (insgesamt)	2.820.000
Eisen [Fe <sup>1)</sup> ]	57.000
Baryt	108.111
Bentonit	447.913
Feldspat*	1.390.000
Flußspat	30.381
Graphit*	3.200
Kaolin <sup>1)</sup>	3.779.397
Kali (K <sub>2</sub> O)	3.548.665
Kali-Beiprodukte <sup>2)</sup>	1.233.093
Steinsalz	13.507.332
<b>Zwischensumme</b>	<b>233.095.278</b>
Natürliche Sande & Kies	335.700.000
Natursteine (Kalk-, Gips- & Bimsstein)	212.224.000
<b>Gesamtsumme</b>	<b>781.019.278</b>
<sup>1)</sup> geschätzt	
<sup>1)</sup> incl. Bayern: 2.098.910 t (verwertbare Kaolinroh- erde [Aufgabegut der Aufbereitung], einschließlich Quarz und Feldspat als Beiprodukt	
<sup>2)</sup> Rückstandssalz, Brom, MgCl <sub>2</sub> -Lauge, Magnesium- chlorid, Kieserit und andere Mg-Erzeugnisse (davon dürften mehr als zwei Drittel Kieserit sein)	
BGR / B 1.21 / B 1.22 / B 1.23 nach: Oberberg- und Bergämter; Bundesverband Steine und Erden e.V.	

Tabelle 1: Gewinnung von mineralischen und Energie-Rohstoffen in Deutschland (2001)

Rohstoff	Einsatz von Alt- und Abfallmaterial in %	Jahre
Aluminium	32,3 - 39,8	1996-2001
Kupfer	53,3 - 56,7	1996-2001
Blei	50,7 - 57,6	1996-2001
Zink	40,2 - 36,9	1996-2001
Zinn	8,0 - 11,0	1996-2001 <sup>1)</sup>
Rohstahl	39,6 - 42,9 <sup>2)</sup>	1996-2001
<sup>1)</sup> Schätzung; <sup>2)</sup> Anteil an der Produktion		

Tabelle 2: Rückgewinnung aus Alt- und Abfallmaterial in Deutschland. Anteil am Verbrauch in Prozent.

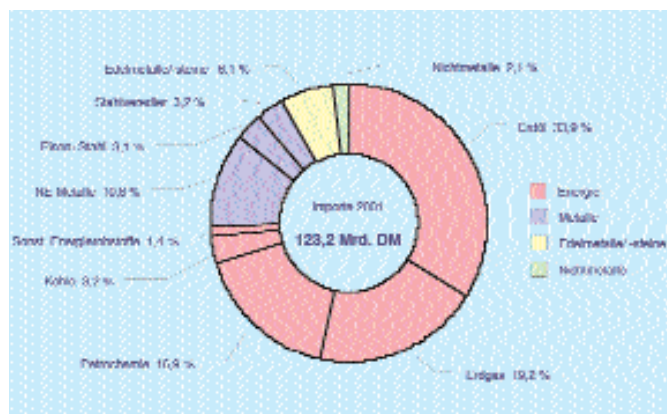


Abbildung 2: Struktur der deutschen Rohstoffeinfuhren 2001. Anteile am Gesamteinfuhrwert.

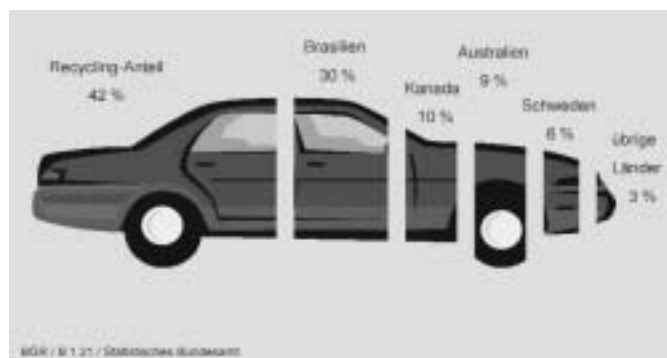


Abbildung 3: Eisenerzeinsatz in Deutschland von 45,2 Mio. t im Jahr 2000 nach Lieferländern und Schrotteinsatz

Wenn die lokalen Märkte für Rohstoffe verschwunden sind, können wir konsequenterweise die ganze Welt als unsere Rohstoffbasis betrachten. Bevor wir uns die nahe liegende Frage stellen, wie lange reichen denn eigentlich die Rohstoffe der Welt, müssen wir uns im Klaren sein, dass wir eigentlich die Rohstoffe nicht als solche benötigen, sondern immer nur deren Funktionen. Wir benötigen nicht 1 kg Kupfer, sondern die Eigenschaft der Leitfähigkeit des Kupfers, z.B. zur Nachrichtenübermittlung in Telefonkabeln. Nachrichten kann man auch mit Glasfaserkabeln übermitteln oder mit Richtfunkantennen oder Satellitentelefonen. Jedes Mal haben wir ein völlig anderes Rohstoffprofil. Früher brauchte man für die Photographie Silber, das bei Digitalkameras nicht mehr benötigt wird. Es gibt nur zwei Elemente, auf die das nicht zutrifft, nämlich Phosphor und Kali. Die Pflanzen brauchen diese Elemente zum Wachstum. Glücklicherweise sind die Reichweiten dieser Rohstoffe, d.h. die momentan erscheinende Verfügbarkeiten, sehr hoch – Kali ist im Meerwasser praktisch unbegrenzt verfügbar –, so dass man bei beiden eigentlich von einem Rohstoffparadoxon sprechen kann.



**Innovative Förderung**

**Umweltbewusste Verarbeitung**

**Hohe Sicherheitsstandards**

**Qualitäts-Kraftstoffe**

**Hightech-Schmierstoffe**

**ExxonMobil Ein Unternehmen. Zwei Marken.**

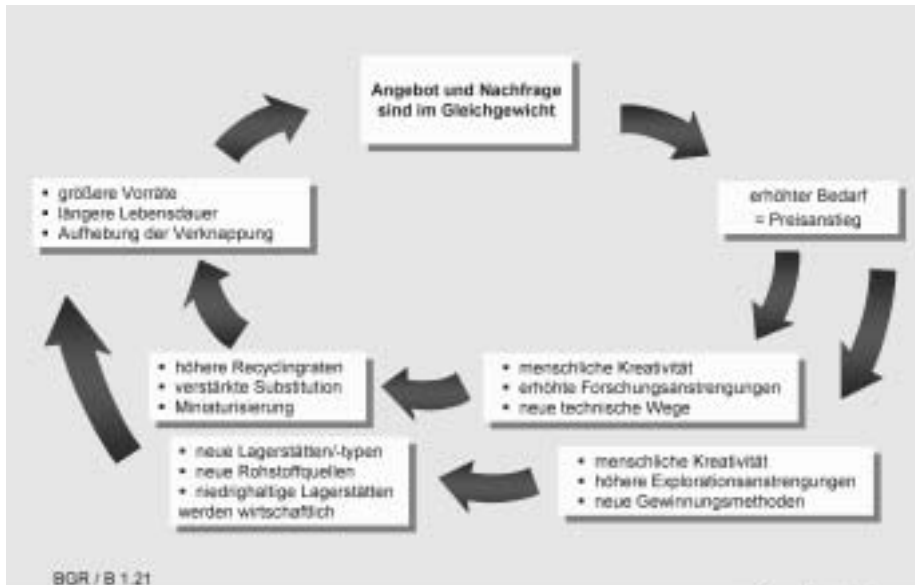


Abbildung 4: Regelkreise: Lösungswege zur Rohstoffversorgung

Zur Lösung der Funktionen, die wir benötigen, stehen uns alle Ressourcen dieser Erde zur Verfügung. Damit wir immer Lösungen finden, brauchen wir einen weiteren Rohstoff: menschliche Intelligenz und Kreativität, auf den wir unbegrenzt zugreifen können. Auch wenn ein Rohstoffmarkt kurzfristig aus dem Gleichgewicht gerät, zeigen die Erfahrungen, dass die Regelkreise zur Rohstoffversorgung auch in Zukunft funktionieren werden und damit die Rohstoffversorgung gewährleistet ist (Abb. 4).

Auch bei diesem Lösungsweg für unseren zukünftigen Rohstoffbedarf bleibt aber die Frage über die Verfügbarkeit, welche Rohstoffe sind leichter zugänglich, welche reichen länger? Damit sind wir bei der so häufig zitierten Kennzahl „Reichweite der Reserven“.

Die so genannte „Reichweite der Reserven“ ist der Quotient aus bekannten Reserven und Verbrauch. Im Grunde ist dieser Quotient nichts weiter als ein Reserven-Verbrauchs-Verhältnis (R/V-Verhältnis), das nur irrtümlicherweise als Reichweite der Reserven interpretiert wird, auch wenn die rechnerische Dimension [Jahre] ist. Denn Reserven sind eine dynamische Größe. Die Reservenanzahl ist abhängig von vielen Einflussfaktoren und ändert sich laufend. Einflussfaktoren sind u. a. der Lagerstättentyp, der für einen Rohstoff dominierend ist, die statistische Größenverteilung der Lagerstätten, der Preis der Rohstoffe, die Kostenstruktur der Gewinnung, die Intensität der Exploration, neue technologische Entwicklungen oder das Verhältnis von Lagerstätten, die direkt in Erschließung gehen können zu solchen, die zurückgestellt wurden („on the shelf“). So ist dieses R/V-Verhältnis nichts mehr als eine statistische Momentaufnahme

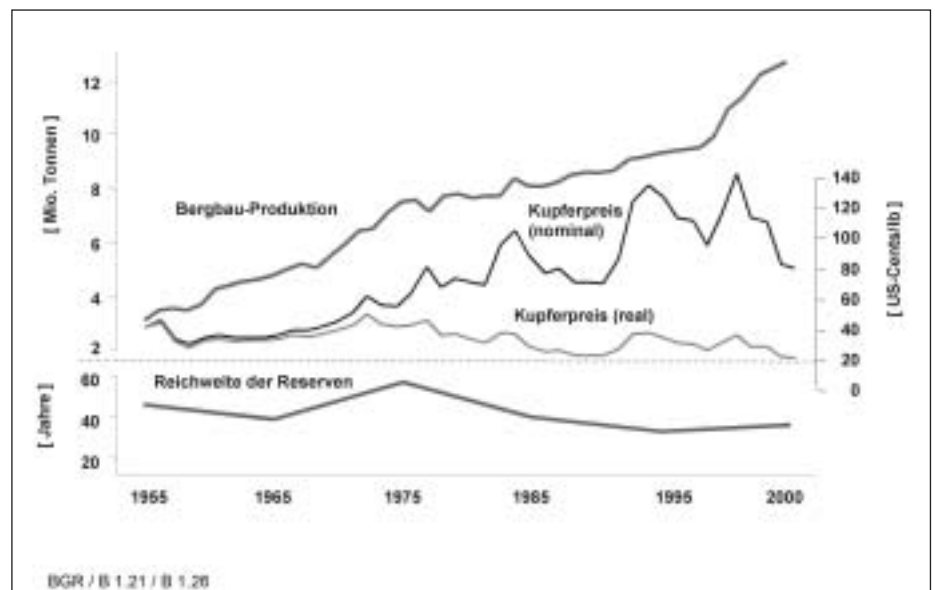


Abbildung 5: die Entwicklung der Kupferbergbau-Produktion, der Preise und der Lebensdauer kennziffer.

me eines dynamischen Systems. Eine Einzelzahl ist sinnlos; man muss Zeitreihen betrachten. Da alle diese Einflussfaktoren für jeden Rohstoff unterschiedlich sind, hat jeder Rohstoff auch sozusagen sein Gleichgewichts-R/V-Verhältnis. Für Rohstoffe, die überwiegend aus diskreten, linsigen Körpern abgebaut werden wie z.B. Blei oder Zink ist diese Kennzahl niedriger als für Lagerstätten, die überwiegend aus schichtförmigen, flözartigen Lagerstätten kommen und deren Vorratszahlen sich daher leicht inter- und extrapolieren lassen, wie z.B. Kohle oder Kali. Das R/V-Verhältnis liegt z.B. für Blei und Zink zwischen 20 und 25 Jahren, bei Kupfer zwischen 30

und 35, beim Erdöl zwischen 40 und 45, beim Erdgas um 65 Jahre, bei Kohle um 170 Jahre und beim Kali bei über 300. So gilt dieses R/V-Gleichgewichtsverhältnis von 20-25 für Zink seit dem Ende des 2. Weltkrieges, obwohl sich die Produktion von Zink von 2,2 Mio. t im Jahr 1950 auf 8,9 Mio. Tonnen Zink im Jahr 2001 erhöht hat. Dieses R/V-Verhältnis sagt mehr aus über den Innovationsbedarf, der notwendig ist, dieses Verhältnis in etwa konstant zu halten, als über die Reichweiten selbst. Bei niedrigen R/V-Verhältnissen ist ein höherer Innovationsbedarf notwendig als bei hohen Zahlen wie etwa bei Kohle oder Kali von über 300. Diese Zahlen als Maß für den Innovationsbedarf sprechen denn auch eine der Aufgaben einer Rohstoffhochschule wie der TU Clausthal an, in Lehre und Forschung das Rüstzeug zu liefern, diese Gleichgewichte auch in Zukunft zu halten.

In der Abbildung 5 ist dieses dynamische Gleichgewicht für Kupfer dargestellt. Von 1955 bis 2000 erhöhte sich die Produktion von 3,1 auf 13,3 Mio. Tonnen. Trotzdem blieb das R/V-Ver-

hältnis in demselben Korridor gleich bei etwa gleichen Preisen in realen Geldwerten.

Bisher ist es für alle Rohstoffe gelungen, diese dynamischen Gleichgewichte, die sich in dem R/V-Verhältnis ausdrücken, zu halten. In unserem marktwirtschaftlichen System kann erwartet werden, dass dies auch in Zukunft möglich sein wird. Grenzen werden bisher nur bei einem Rohstoff sichtbar, nämlich Erdöl.

Um zu einer Abschätzung bei Erdöl zu kommen, muss aber ein ganz anderes Werkzeug zur Hilfe genommen werden als das R/V-Verhältnis, ►



nämlich die Lebensdauer-glockenkurve. Lagerstättendistrikte oder -provinzen oder auch die Welt als eine Gesamtrohstoffprovinz, durchlaufen eine glockenförmige Lebenskurve. Die entscheidende Frage ist gar nicht, wie weit reicht z.B. Erdöl, sondern, wann wird das Fördermaximum erreicht und ab wann beginnt der Förderabfall. Für konventionelles Erdöl, das im heutigen Preisbereich bis etwa 30 US-\$/Barrel (=159 Liter) gefördert werden kann, kann man das Gesamtpotenzial abschätzen. Es liegt bei ca. 360 Mrd. Tonnen Erdöl, von denen wir fast 130 Mrd. Tonnen gefördert haben. Wir nähern uns dem Scheitelpunkt, der auch als „depletion midpoint“ bezeichnet wird und von dem ab etwa die Förderung abfällt. Nach unseren Abschätzungen wird dieser Zeitpunkt größenordnungsmäßig um das Jahr 2020 erreicht. Für die zukünftige Ölverfügbarkeit ist es wichtig, welche Produzentenländer liegen vor dem „depletion midpoint“, können also ihre Förderung noch steigern, und welche Länder haben diesen Punkt bereits überschritten mit der Konsequenz einer stagnierenden und dann abnehmenden Förderung. Abbildung 6 zeigt den „depletion midpoint“ für eine Auswahl von Ölländern wobei die große Bedeutung des Iraks für die zukünftige Ölwirtschaft augenscheinlich ist. Deutschland hat diesen bereits 1975 überschritten (Abb. 6).

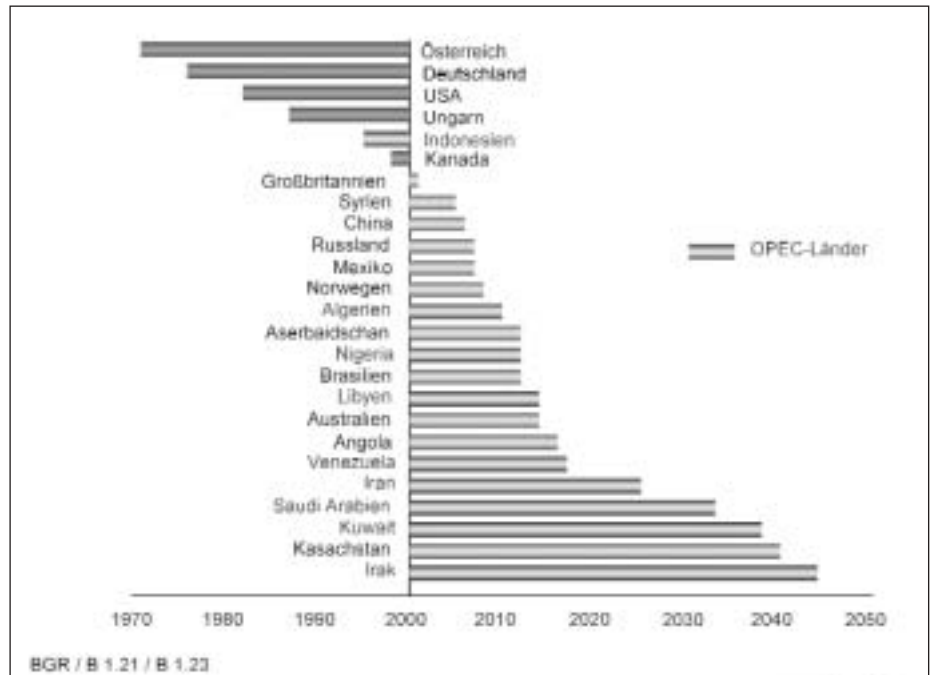


Abbildung 6: Erreichen des „depletion midpoint“ vor und nach dem Jahr 2000

Anzeige

## WIE SOLL'S MIT IHRER LAUFBAHN WEITERGEHEN?

### Wir bieten Aufstiegschancen.

Sie sind Ingenieur/-in, Techniker/-in oder technische/-r Zeichner/-in? Sie arbeiten motiviert und zielstrebig? Dann sind Sie bei FERCHAU, dem Marktführer für Ingenieurdienstleistungen, am Drücker. Denn qualifizierte, engagierte Mitarbeiter unterstützen wir durch individuelle berufliche und persönliche Förderung, laufende Weiterbildung und gute Aufstiegsmöglichkeiten. So haben bereits viele der mehr als 1.800 Mitarbeiter bei FERCHAU Karriere gemacht und sind in neue Verantwortungsfelder hineingewachsen, z. B. als Leiter der Konstruktion oder als Projektleiter. Ihr Beitrag? Sie bringen Ihr Können und Ihre Kreativität in unsere Projektarbeit für Top-Unternehmen verschiedenster Branchen ein. Wir wollen weiter wachsen! Sie auch? Dann drücken Sie jetzt die richtigen Tasten und überzeugen Sie uns mit Ihrer Bewerbung.

FERCHAU Konstruktion GmbH  
Niederlassung Braunschweig  
Berliner Heerstraße 1 c  
38104 Braunschweig  
Fon 05 31 / 2 36 35-0  
Fax 05 31 / 2 36 35-33  
braunschweig@ferchau.de  
www.ferchau.de



**FERCHAU**  
Ingenieurdienstleistungen



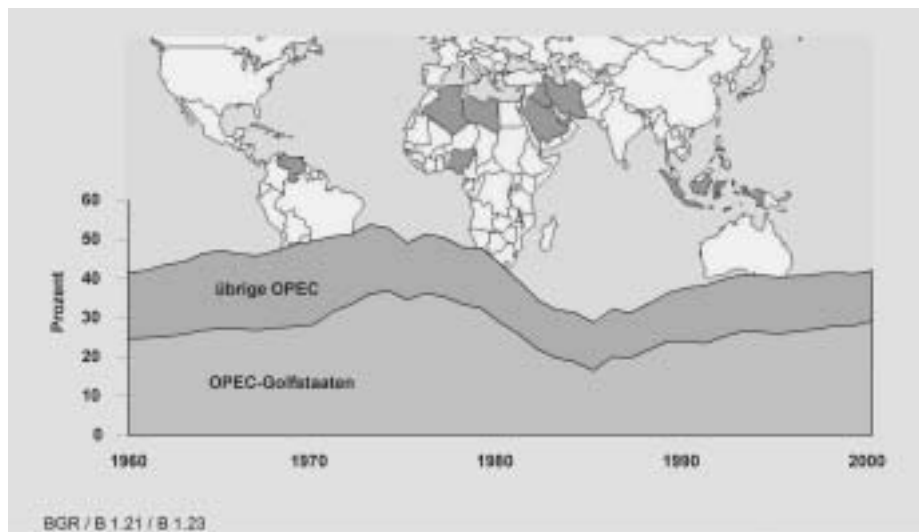


Abbildung 7: Anteil der OPEC-Länder an der Welterdölförderung

Dies sind Betrachtungen über konventionelles, relativ billig zu gewinnendes Erdöl, auf dem im Wesentlichen unser jetziger Lebensstandard beruht. Der „depletion midpoint“ kann entscheidend in die Zukunft verschoben werden, wenn auch unkonventionelles Erdöl, z.B. die Ölsande mit in die Betrachtungen einbezogen werden, die ein höheres gesichertes Preisplateau benötigen, um eine befriedigende Verzinsung der hohen Investitionskosten zu ermöglichen. Die Vorräte sind riesig, die Vorräte an Ölsanden Kanadas allein sind größer als die Ölreserven von Saudi-Arabien. Das zögerliche Investitionsverhalten, obwohl die Vorkommen alle oberflächennah sind, das Explorationsrisiko praktisch null ist und fast alle großen internationalen Ölgesellschaften in den Ölsanddistrikten vertreten sind, verdeutlicht die Schwierigkeiten der Investitionsentscheidung.

Eine weitere riesige Energieressource sind die so genannten Gashydratvorkommen, gefrorenes Methan, das unter dem Meeresboden in weiten Gebieten des Kontinentalabhangs und in Permafrostgebieten auftritt. Die Ressourcen werden als höher eingeschätzt als die Summe aller Erdöl-, Erdgas- und Kohlelagerstätten. Heute sind allerdings keinerlei Verfahren in Sicht, derartige Vorkommen technisch und wirtschaftlich zu gewinnen – eine Ressource für die fernere Zukunft!

Betrachten wir nun **Abbildung 7**, so wird die große Bedeutung der OPEC deutlich. Zur Zeit trägt die OPEC mit etwa 40 % zur Welterdölversorgung bei. Auf lange Sicht muss sich dieser Anteil auf Grund der Reservesituation zugunsten der OPEC verschieben. 74 % der Weltreserven liegen in OPEC-Ländern, ein Großteil davon in der Golfregion. Der Raum der sich vom Golf bis nach Russland in das Kaspische Meer hinein erstreckt, ist auch als strategische

Ellipse bezeichnet worden. Hier liegen 70 % der Welterdöl- und 68 % der Welterdgasreserven, letzteres im Gegensatz zum Erdöl im Wesentlichen im russischen Westsibirien.

Erdöl ist auch wegen der OPEC unter den Rohstoffen ein Sonderfall, da hier Regierungen über die staatseigenen Betriebe die Förderquoten festlegen und keine marktwirtschaftlich agierenden Firmen. Ein derartiges Kartell mit vergleichbarem Einfluss gibt es bei keinem anderen Rohstoff. Aber es gibt durchaus regionale Konzentrationen, und es gibt Möglichkeiten, Trends zu derartigen Konzentrationen in der Zukunft zu erkennen. Das Hilfsmittel ist das Studium der Explorationsausgaben.

von heute schaffen die Bergbauzentren von morgen. Studiert man die Explorationsausgaben auf dem Metallsektor, so sieht man den großen Schwerpunkt Lateinamerika (**Abbildung 8**). Wenn auch die klassischen Bergbauländer Australien, Kanada und Südafrika noch lange ihre große Bedeutung beibehalten werden, ist aus den relativen Anteilen Lateinamerikas ein stetiges Wachsen der Bedeutung in Zukunft ablesbar.

Betrachtet man statt Regionen die einzelnen Förderländer und nimmt als Index für Rohstoffkonzentrationen den Anteil an der Weltproduktion der drei größten Förderländer, so kann man Rohstoffe in drei Kategorien einteilen: Rohstoffe, die sich weiter diversifizieren wie z.B. Braunkohle, Rohstoffe mit gleich bleibender Konzentration wie z.B. Steinkohle, Blei oder Zink, und Rohstoffe mit steigender Länderkonzentration. Hierzu gehören z.B. Eisenerz, Kupfer oder der Aluminiumvorstoff Bauxit.

Was ist der Grund für diese zunehmende Länderkonzentration? Um das Preisrisiko zu minimieren, bevorzugen Bergbaufirmen Investitionen in Lagerstätten, die im unteren Kostendrittel oder gar -viertel liegen („lower third rule“). Derartige kostengünstige Lagerstätten sind häufig an ganz bestimmte geologische Konstellationen geknüpft, die nur in wenigen Ländern auftreten. Beim Kupfer sind es z.B. die sehr großen und hochhaltigen so genannten porphyrischen Kupferlagerstätten wie Chuquibambilla oder Escondida in Chile, die an einen ganz bestimmten Typ des Abtauchens ozeanischer Kruste unter kontinentaler Kruste (Subduktionszone) gebunden sind. Aus den Investitionsplänen für zukünftige Kupferprojekte lässt sich leicht ablesen, dass ►

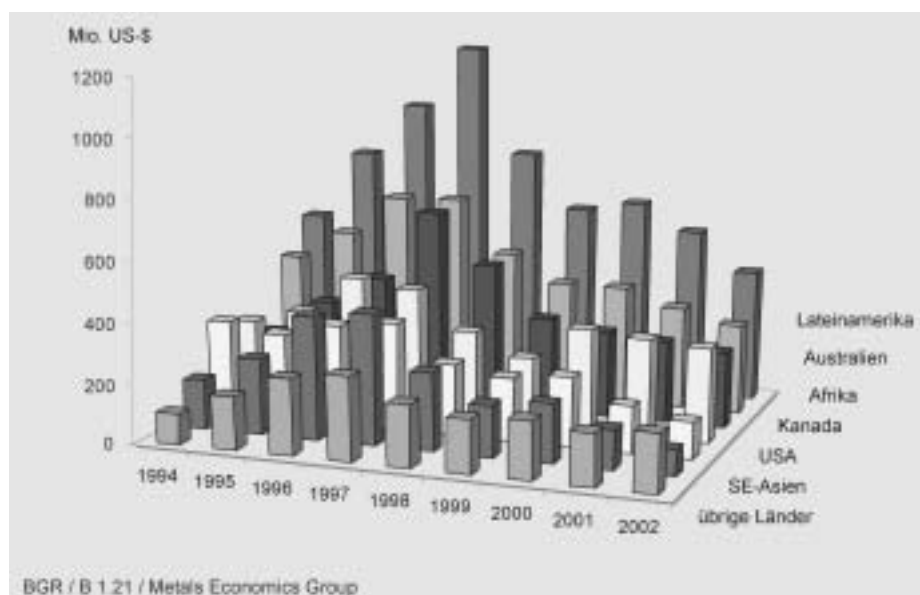


Abbildung 8: Entwicklung der Explorationsaufwendungen von Bergbaufirmen der „westlichen“ Welt nach Ländern und Regionen

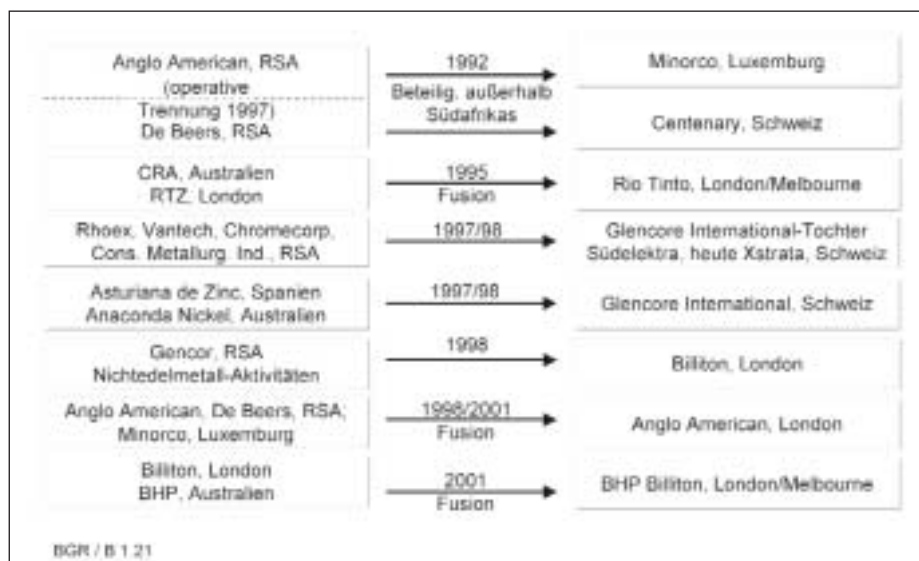


Abbildung 9: Verlegung von Firmensitzen und Beteiligungen nach Europa bei diversifizierten, global aufgestellten Bergbaufirmen.

der Anteil an der Weltkupferproduktion von Chile weiter zunehmen, also eine weitere ländermäßige Konzentration stattfinden wird.

Neben diesen rohstoffspezifischen regionalen Konzentrationen finden wir natürlich auch eine Firmenkonzentration, wie sie in allen Wirtschaftsbereichen als M&A-Aktivität (Mergers and Acquisitions) weltweit stattfindet. Bei den Rohstoffen beobachten wir einen besonderen Trend, eine Polarisierung: Einerseits eine Konzentration von Bergbauaktivitäten bei den großen internationalen angloamerikanischen Bergbaufirmen, die ihren Firmensitz aus traditionellen Gründen oft in London haben, da London für sie der beste Finanzplatz der Welt ist (Abbildung 9), andererseits ein Aufgeben von Bergbauaktivitäten in Mischkonzernen in den wesentlichen Industrieländern, besonders in Deutschland (Abbildung 10) oder generell in Europa, die sich auf ihr Downstreamgeschäft konzentrieren. Die letzten Beispiele in Deutschland sind der Verkauf der Ferteco, der brasilianischen Eisenerzbergbaugesellschaft der ThyssenKrupp an die brasilianische Gesellschaft CVRD und der Verkauf der VAW, der Aluminiumaktivitäten des E.ON-Konzerns, an den norwegischen Konzern Norsk Hydro.

Allerdings ist festzustellen, dass der Konzentrationsgrad in der Weltbergbauindustrie in Bezug auf die Gesamtweltbergbauproduktion verglichen mit anderen Industriezweigen immer noch relativ gering ist. Das gilt jedoch nicht, wenn wir einige einzelne Rohstoffe betrachten. Traditionell gibt es bei einigen Rohstoffen eine hohe Firmenkonzentration, die langsam durch das Eintreten von „Newcomers“ in den Markt geringer wird. Nickel mit der großen kanadischen Nickel-

firma INCO ist ein gutes Beispiel. Betrug ihr Anteil an der Weltproduktion Ende der 80er Jahre noch über 20 %, so fiel er bis heute auf ca. 15 %, bei gleich bleibender Produktion von etwa 190.000 Tonnen pro Jahr. Andererseits gibt es gegenläufige Trends, die besonders beim Eisenerz sehr deutlich werden. Die drei größten Firmen kontrollieren heute etwas mehr als 30 % der Weltbergbauproduktion. Betrachtet man nur den weltweiten Überseehandel mit Eisenerz – und nur dieser Teil der Eisenerzproduktion ist für uns als Abnehmer von Eisenerz interessant, nicht der Teil der national verhüttet wird – so kontrollieren die drei größten Firmen, die englisch-australische Rio Tinto, die australisch-eng-

lische BHP Billiton und die brasilianische CVRD drei Viertel dieses Handels (Abb. 11).

Nun ist die Rohstoffwelt im Gegensatz zu den klassischen Industriezweigen viel offener für „Newcomer“, vergleichbar etwa mit der IT-Industrie. Lagerstätten als nicht erneuerbare Ressourcen werden abgebaut. Neue Reserven müssen entdeckt werden. Hier zählen Ideen und nicht Größe einer Firma. Im Gegenteil, die erfolgreichsten Explorateure sind oft mittlere oder kleinere Firmen, die so genannten „Juniors“. Die beiden Diamantengruben in Kanada, Ekati und Diavik, sind von ihnen entdeckt worden. Statistiken aus Kanada zeigen, dass etwa die Hälfte der Entdeckungen von diesen Firmen gemacht wird. Der heute drittgrößte Goldbergbauproduzent, die kanadische Barrick Gold, ist erst vor 20 Jahren gegründet worden. 1985, ein Jahr nach der Gründung, lag Barrick mit einer Jahresproduktion von 2 Tonnen Gold auf Platz 49 der damaligen Weltrangliste. Durch eine beispiellose Expansionsstrategie (Abbildung 12) wurde im letzten Jahr mit 174 Tonnen Gold der dritte Platz erreicht.

Bei zunehmender Konzentration sowohl regional als auch bei Firmen einerseits – zumindest bei Rohstoffen wie Eisen, Kupfer oder Aluminium – und einer totalen Importabhängigkeit bei allen primären Metallrohstoffen andererseits, kann man die Frage stellen, wie sicher ist die Rohstoffversorgung der Industrie und damit unsere eigene. Dazu kommt, dass alle deutschen Metallproduzenten ihre Überseebeteiligungen aufgegeben haben und somit auch ihre Rückwärtsintegration. Ähnliches gilt bei den Energie-

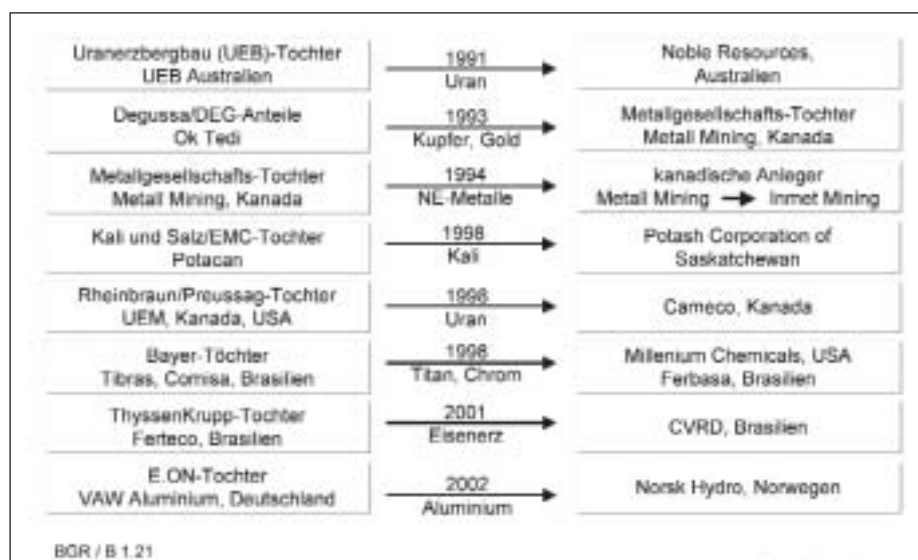


Abbildung 10: Verkäufe deutscher Firmen und Beteiligungen im Metall- und Industriemineralbergbau

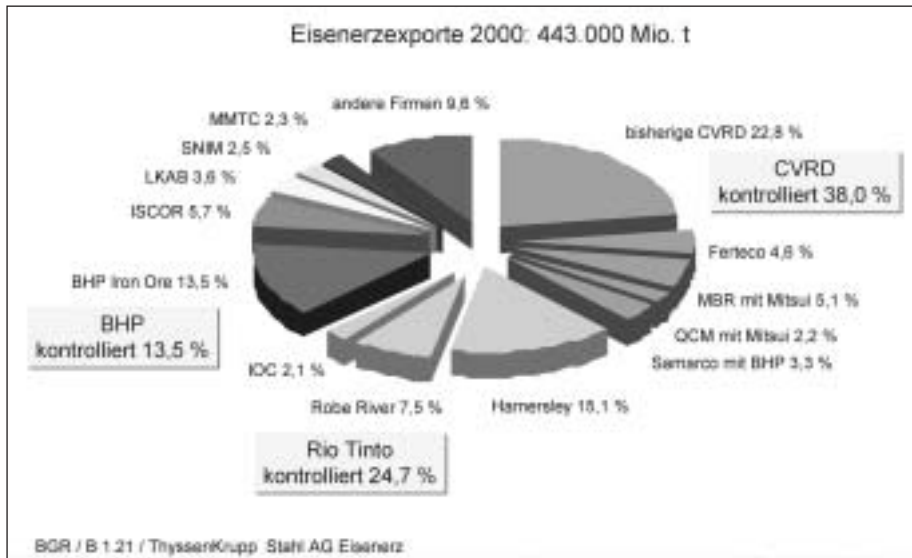


Abbildung 11: Marktanteile am überseeischen Eisenerzexport 2001, nach den Übernahmen von Samarco/Samitri, Ferteco, MBR, QCM durch CVRD und North (Robe River, IOC) durch Rio Tinto.

Anteil %	Mine	Land	Anteilige Produktion 2001 in t	Übernahme Jahr / Preis Mrd. US-\$	Übernahme von / Merger mit
100	Holt McDermott Gold Mine	Kanada	2,6	1984	Carrizo Mines, Kanada
100	Betze Post Gold Mine	USA	48,2	1987	Goldstrike Mines, USA
100	Melke Gold Mine	USA	22,1		dito
100	Bullfrog Gold Mine	USA	geschl. 1999	1984 / 1,6	Lac Minerals, Kanada
100	Bousquet No 1 Gold Mine	Kanada	6,6		dito
100	El Indio Copper/Gold Mine	Chile	2,3		dito
100	Tambo Gold Mine	Chile	geschl. 2000		dito
100	Pierina	Peru	28,3	1996 / 0,8	Arequipa Resources, USA
50	Pinson	USA	geschl. 1999	1997	Rayrock Resources, USA
100	Bulyanhulu	Tansania	7,5	2001	Sutton Resources, Kanada
100	15 Minen (5 USA, 3 Kanada, 5 Australien, 1 Chile)	USA	73,6	2001 / 2,3	Merger mit Homestake, USA
<b>Barrick Gold Corp. Gesamtproduktion 2002: 173,6 t = 6 % der Weltproduktion</b>					

BGR / B 1.21 Raw Materials Data / Metals Economics Group

Abbildung 12: Die Entwicklung des gegenwärtig weltweit drittgrößten Goldproduzenten, der kanadischen Barrick Gold, durch Übernahmen und Zusammenschlüsse von 1984 bis 2002.

rohstoffen Erdöl und Erdgas.

Bei der Versorgung müssen kurzfristige und langfristige Aspekte unterschieden werden. Längerfristig sitzt der Käufer immer am längeren Hebel. Rohstoffe ohne Markt, ohne Käufer, sind wertlos. Erst wenn sie den Markt gefunden haben, haben sie einen Wert für den Produzenten. Wir als Verbraucher denken in der Regel bei Versorgungsstörungen an die erste Erdölkrise 1973 anlässlich des Jom-Kippur-Krieges, als die erdölfördernden arabischen Staaten einen Lieferboykott ausriefen, es zu drastischen Rohölpreissteigerungen kam und es autofreie Sonntage bei uns gab. Derartige Störungen sind sicher-

lich die Ausnahme und bei anderen Rohstoffen, in denen nicht Staaten, sondern Firmen die Produktion kontrollieren, auch nicht zu erwarten. Es ist eher umgekehrt. Verbraucherländer benutzen die Rohstoffwaffe viel häufiger gegen Produzentenländer als es umgekehrt versucht wurde. Man denke an die Ölembargos gegen Libyen, den Iran oder den Irak oder das Embargo gegen die Rohstoffausfuhren des Apartheidlandes Rhodesien (Simbabwe).

Zudem müssen bei der Frage der Versorgung Mengen- und Preisaspekte unterschieden werden. Mit Ausnahme von Kobalt in der Shaba-

Krise 1978, als Kobalt aus dem Kongo, dem damals größten Lieferland, zugeteilt wurde, hat es im Grunde nie ein physisches Verfügbarkeitsproblem gegeben, das sich nicht über den Preis gelöst hätte, auch bei den so genannten Ölkrisen 1973 und 1979 war das so. Das heißt konsequenterweise, dass man sich als Verbraucher den Marktpreisen voll ausliefert, wenn man nicht rückwärts integriert ist bzw. keine Abnehmerverträge geschlossen hat. Rohstoffmärkte sind selten ausgeglichen. In der Regel schwanken sie zwischen Käufer- und Verkäufermärkten. Zu Zeiten der Verkäufermärkte ist das Rohstoffangebot knapp, der Verkäufer bestimmt den Markt und kann die Preise nach oben treiben; im Käufermarkt ist es umgekehrt. Über diesen Mechanismus regeln sich die Mengen.

Ein Verbraucher, der nicht rückwärts integriert ist und das sind in den marktwirtschaftlich orientierten Volkswirtschaften, bis auf die japanische Industrie relativ wenige, wird mit hoher Wahrscheinlichkeit immer die benötigten Mengen bekommen, allerdings bei Störungen des Marktes gegebenenfalls zu höheren Preisen. Die meisten Abnehmer schließen daher mit den Produzenten Lieferverträge ab, die z.B. bei Kupfer bis 10 Jahre gehen können und Klauseln enthalten, wie auf größere Preisschwankungen zu reagieren ist. Wie wir eingangs gesehen haben, rückt die Welt durch die fortschreitende Globalisierung immer enger zusammen, und die Produktionsstätten der großen Firmen werden immer internationaler. Damit dürften auftretende positive oder auch negative Preistrends die meisten Verbrauchszentren treffen und damit auch die meisten Verbraucher.

Reflektieren wir die obigen Ausführungen, so erkennen wir, dass keine Grenzen bei der zukünftigen Verfügbarkeit von Rohstoffen in einem marktwirtschaftlichen System erkennbar werden und dass trotz regionalen und Firmenkonzentrationen der Produzenten kaum physische Verfügbarkeitsprobleme erkennbar sind. Physische Verfügbarkeit heißt allerdings nicht automatisch billige Rohstoffe, auch hier erfolgt die Lösung über den Preis.

Beim Durchdenken der Ressourcenproblematik der Zukunft wird deutlich, dass die Probleme nicht bei den nicht-erneuerbaren Ressourcen liegen; sie liegen paradoxerweise viel eher bei den erneuerbaren Ressourcen. Die limitierten Süßwasservorkommen in vielen Teilen der Welt und die Bodenressourcen, die durch Erosion immer knapper werden, sind limitierende Faktoren für die Nahrungsmittelproduktion, die für eine stetig steigende Weltbevölkerung benötigt werden.

*Überarbeitete Fassung eines Vortrages, gehalten im Oktober 2002 auf Einladung des Berg- u. Hüttenmännischen Vereins und Agricola Akademischer Verein im Institut für Bergbau.*



# Ehrendoktor für Prof. Dr. Dr. h.c. Wellmer



Prof. Dr. Jürgen Fertig (li.), Prof. Dr. Ernst Schaumann und Prof. Dr. Dr. h.c. Wellmer bei der Verleihung

Professor Dr. Dr. h.c. Friedrich-Wilhelm Wellmer, Präsident der Bundesanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe (BGR) und des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLFb) in Hannover wurde am Freitag, dem 31. Januar 2003 im Rahmen der Feierlichen Verabschiedung der Absolventen der TU Clausthal in der Aula der Universität mit der Ehrendoktorwürde der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität Clausthal ausgezeichnet.

## Internationale Autorität

„Professor Wellmer ist einer der prominentesten Vertreter der Geowissenschaften Deutschlands und ist trotz seiner exponierten administrativen Stellung mit ungewöhnlicher Energie in Forschung und Lehre in der angewandten Geologie aktiv geblieben“, sagte Professor Dr. Bernd Lehmann, Institut für Mineralogie und Mineralische Rohstoffe in seiner Laudatio zur Begründung der Clausthaler Ehrung. Wellmer sei eine international anerkannte und gefragte Autorität in Fragen der Rohstoffpolitik und Ressourcenbewertung.

Sein Lebensweg in Kürze: Geboren im ersten Kriegsjahr (1940) in Lübeck, nahm er nach dem Wehrdienst (1960–1961) und der Tätigkeit als Bergbaubeflissener im Kali-, Eisenerz- und Steinkohlenbergbau sowie in der Erdölgewinnung

sein Studium des Bergbaus und der Geologie im Wintersemester 1962 an der TU Berlin auf, wechselte nach einem Jahr an die Bergakademie Clausthal (1963–1966). Vier Jahre bis zur Promotion, darin eingeschlossen ein einjähriger Forschungsaufenthalt am Massachusetts Institute of Technology (MIT) und beim us-amerikanischen geologischen Dienst (USGS).

## Als Explorationsgeologe in der ganzen Welt

„Danach plante der ehrgeizige Jungwissenschaftler einen Postdoc-Aufenthalt in Moskau, es kommt allerdings das verlockende Angebot zum „Assistenten des Chefgeologen“ im Geschäftsbereich Bergbau der Metallgesellschaft AG in Frankfurt am Main. Damit beginnt eine sehr intensive rund 15-jährige Tätigkeit als Explorationsgeologe weltweit“, schilderte Professor Lehmann die weiteren Stationen.

So war Professor Wellmer als Explorationsgeologe in Europa, Nordafrika, Nord- und Südamerika, Australien, Ozeanien und Fernost tätig, zuletzt als Direktor der Explorationsabteilung der australischen Tochtergesellschaft der Metallgesellschaft AG.

1986 erhielt er den Ruf auf den Lagerstättenkunde-Lehrstuhl (C4) an der TU Berlin, lehnte den Ruf aber ab und ging als Leiter der Abtei-

lung Wirtschaftsgeologie und Internationale Zusammenarbeit zur Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 1996 wurde er deren Präsident. Professor Wellmer ist Honorarprofessor für Rohstoffpolitik und Wirtschaftsgeologie an der TU Berlin. Im Jahre 1999 verlieh ihm die TU Bergakademie Freiberg die Ehrendoktorwürde. „Hier haben wir natürlich unserer Schwesteruniversität vornehm den Vortritt gelassen“, sagte Lehmann.

„An der Technischen Universität Clausthal sind von der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät nur wenige Ehrendoktorwürden verliehen worden“, sagte Professor Lehmann; im Bereich der Mineralogie und Lagerstättenkunde seien bisher nur drei Persönlichkeiten geehrt worden – der letzte vor rund 30 Jahren. „Herr Wellmer hätte heute nachmittag übrigens gerade Vorlesung in Berlin, hat sich aber überreden lassen, mal die preußische Pflichterfüllung zurückzustellen.“



# Clausthaler Stipendiat übernimmt strategische Position bei Stahlgiganten

**Seit drei Jahren verfolgt das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur mit einem Förderprogramm für Nachwuchswissenschaftler aus außereuropäischen Ländern das Ziel, Brücken zu den Führungskräften von morgen in fernen Ländern zu bauen. Mit Dr. Seung Chul Baik aus Südkorea, der seit Juli 2001 bei Professor Juri Estrin am Institut für Werkstoffkunde und Werkstofftechnik der TU Clausthal ist, konnte jetzt ein „Volltreffer“ gelandet werden.**

Mit Wirkung zum 1. Mai wurde Dr. Baik zum Technischen Manager des Europa-Büros des südkoreanischen Stahlgiganten POSCO mit Sitz in Düsseldorf ernannt. Dort wird es Dr. Baiks Aufgabe sein, wissenschaftlich-technische Kooperationen zwischen europäischen Stahlunternehmen, Universitäten und Forschungsinstituten und POSCO anzubahnen. POSCO gehört zu den weltweit fünf größten Stahlunternehmen.

„Die Transportkosten für Stahl sind zu hoch, als dass POSCO und deutsche Stahlunternehmen in Konkurrenz zueinander um Kunden auf europäischen oder asiatischen Märkten werben müssten. Deshalb können wir in der Verfahrens- und Produktentwicklung kooperieren. Die Kooperation stärkt uns auf unseren Märkten“, sagt Dr. Baik.

An der TU Clausthal befaßte Dr. Baik sich mit Modellrechnungen und Simulationen zur Herstellung nahezu nanokristalliner Materialien aus grobkristallinem Ausgangswerkstoff. Für nanokristalline Werkstoffe werden heute meist Pulver als Ausgangsmaterial verwandt, die unter hohen Drücken und Temperaturen konsolidiert werden. Hierbei bleiben Restporositäten zurück, Verunreinigungen können nicht ausgeschlossen werden – Nachteile, die bei einer Erzeugung nahezu nanokristalliner Werkstoffe aus einem massiven Block vermieden werden. Wird ein Metall im festen Zustand mehrfach durch eine speziell ausgestaltete Matrize gepresst, so führt dies u.a. zu einem ultrafeinen Gefüge mit der Korngröße unterhalb eines Mikrometers. Erhebliche Festigkeitssteigerung und superplastische Verformbarkeit sind nur einige der interessanten Folgen.

Den wissenschaftlichen Ertrag der Kooperation legten Dr. Baik und Professor Estrin gemeinsam mit weiteren beteiligten Wissenschaftlern aus Clausthal, Metz und Südkorea in zehn Fachpublikationen nieder.

Zugleich nutzte Dr. Baik den Aufenthalt an der TU Clausthal, um Kontakte zu Stahlunternehmen und Forschungseinrichtungen in Deutsch-

land zu knüpfen. „Auch aus der neuen Position heraus beabsichtige ich, den Kontakt zur TU Clausthal zu halten. Meine Zeit hier war sehr fruchtbar“, sagt Dr. Baik. Die Wertschätzung beruht auf Gegenseitigkeit: „Wir haben erste Ideen für zukünftige Kooperationen“, sagt Professor Estrin.



Prof. Dr. Juri Estrin und Dr. Seung Chul Baik im Gespräch über weitere Möglichkeiten der Kooperation zwischen POSCO und dem Clausthaler Institut für Werkstoffkunde und Werkstofftechnik.

# Blühende Chemie

Die Chemieorganisationen in Deutschland, darunter auch die Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), werden gemeinsam mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) das Jahr 2003 als „Jahr der Chemie“ begehen, um die Erfolge und Perspektiven der Chemie einem breiten Publikum darzustellen. Anlass ist der 200. Geburtstag Justus von Liebig, des vermutlich weltweit bekanntesten deutschen Chemikers. In Clausthal-Zellerfeld soll das „Jahr der Chemie“ mit einem überdimensionalen Blumenstrauß empfangen werden. Mitglieder des GDCh-JungChemikerForums Harz (JCF) pflanzten insgesamt 2000 gelbe Krokusse vor dem Institut für Organische Chemie der TU Clausthal, die dann blühend die beiden Formeln (mesomere Grenzstrukturen) des Benzols darstellen sollen – allerdings mehr als 20milliardenfach vergrößert.

Mit der Entdeckung des Benzols durch Michael Faraday im Jahre 1825 begann eine Diskussion um die wahre Struktur des Benzols, was eines der Hauptprobleme der organischen Che-



Alle Mann bei der Arbeit

mie des 19. Jahrhunderts war. 1865 machte August Kekulé dann den, mit den Krokussen gepflanzten, Strukturvorschlag von einem schnellen Gleichgewicht zwischen zwei Grenzstrukturen, die selber jedoch niemals erreicht werden. Es wird erzählt, dass ihm die Idee im Traume gekommen sei, nachdem er seine Kinder beim Ringelrein beobachtet hatte. Die Theorie Kekulé's kann seit den auf der Quantenmechanik beruhenden Arbeiten Erich Hückels von 1931 noch wesentlich genauer, aber weniger anschaulich, beschrieben werden.

Die Abkömmlinge des Benzols – die sogenannten Aromaten – sind allgegenwärtig. Rund ein Drittel aller bekannten organischen Verbindungen gehören zu dieser Stoffklasse. Von Kunststoffen wie Polystyrol oder PET bis hin zu den natürlichen Aromastoffen wie Vanillin oder Nelkenöl findet man aromatische Verbindungen überall in der modernen Technik und der belebten Natur.

„Die gepflanzten Krokusse sollen auf das „Jahr der Chemie“ aufmerksam machen und auch danach noch viele Jahre Freude bereiten.“, so Jörg Schmidt, der Sprecher des JCF Harz: „Hoffentlich kann diese blühende Darstellung eines grundlegenden chemischen Sachverhaltes nicht nur die Bedeutung der Chemie im Alltag verdeutlichen, sondern auch helfen, den in der Öffentlichkeit leider viel zu weit verbreiteten Widerspruch zwischen Natur („gut“) und Chemie („böse“) aufzulösen.“

# Alles ist Chemie, sofern man es nur „probiret“.

Chemische Kabinettstückchen, unter anderem mit Mineralwässern

Gefördert von der Stiftung Niedersachsen hat Professor Dr. Georg Schwedt vom Institut für Anorganische und Analytische Chemie der TU Clausthal drei CD-ROMs erstellt, welche in anschaulicher Weise Historisches, Kulturelles mit leichter Feder erzählen und dabei chemisches Basiswissen vermitteln. Die CD-ROMs sind in Verbindung mit Experimentalvorträgen Professor Schwedts unter dem Motto „Chemie mit Kultur und Geschichte“ in niedersächsischen Museen entstanden.

So widmet sich eine CD-ROM den „Mineralwasseranalysen mit einem chemischen Probierkabinett“. Aus den historischen Nachrichten zitierend, berichtet Professor Schwedt eingangs über die Entdeckung der Lebenskräfte stärkenden Heilquellen und stellt mit Johann Wolfgang von Goethe einen der berühmtesten Besucher der Bäder Pyrmont und Helmstedt vor.

Der von Goethe in seiner Eigenschaft als Mi-

nister von Weimar geförderte Johann Friedrich August Götting (1753–1809) wurde 1789 zum Professor für Chemie, Pharmazie und Technologie an der Universität Jena berufen. 1790 veröffentlichte er sein „Vollständiges chemisches Probier-Cabinet zum Handgebrauche für Scheidekünstler, Aerzte, Mineralogen, Metallurgen, Technologen, Fabrikanten, Oekonomen und Naturliebhaber“. Aus diesem ersten Handbuch der qualitativen chemischen Analyse entnahm Professor Schwedt dessen Versuche mit Mineralwässern. Die historischen Experimente werden zitiert und modern interpretiert. Die Versuche erfordern einfachstes Zubehör, so dass sie jeder selbst ausführen kann und dabei etwas über die Arbeits- und Denkweise der Chemie erfährt; zugleich unternimmt der Leser eine kleine kulturhistorische Reise.

Eine weitere CD-ROM wird besonders Kinder erfreuen, informiert sie doch darüber, wie

sich „Zaubertinten“ herstellen lassen. Die Erklärungen zur Wirkungsweise der Geheimtinten führen jeweils knapp in den chemischen Hintergrund ein. Sie berichten aber quasi nur die „Spitze des Eisbergs“ des nötigen Wissens, um den im Hintergrund ablaufenden chemischen Vorgang wirklich zu verstehen. So soll der Leser neugierig gemacht werden, sich selbst aktiv mit der Chemie zu beschäftigen. Diesem Ziel dienten schon die populärwissenschaftlichen Schriften Göttings, auf vernünftliche Weise die Aufmerksamkeit für die Chemie zu wecken.

Die dritte CD-ROM beschäftigt sich mit dem Helmstedter Professor Beireis und seiner Chemie der Farben.

So schließt sich ein Kreis – von der Kulturgeschichte, über die frühe Chemie, die heutigen Kenntnisse, bis zum Impetus der ersten Gelehrten auf dem Gebiet der Chemie.



# Neu in der Geosammlung: Ein Dinosaurier-Ei und ein Dino-Schädel

**Professor Brauckmann und Frau Dr. Gröning konnten Ende letzten Jahres ein originales, gut erhaltenes Dinosaurier-Ei, das etwa 70 Millionen Jahre alt ist und aus der Mongolei stammt, für die Geosammlung erwerben.**

„Das Fundgebiet ist bekannt geworden durch bedeutsame und bestens erhaltene Funde, die in jüngerer Zeit vor allem von polnischen und russischen Expeditionen unter abenteuerlichen Bedingungen geborgen wurden. Hierbei wurden nicht nur Skelette entdeckt, sondern auch zahlreiche Dinosaurier-Nester mit zum Teil kompletten Gelegen. Diese konnten vor allem nashornartigen, vierfüßigen Horn-Dinosauriern (Ceratopiern) und zweifüßig laufenden Helm-Dinosauriern (Hadrosauriern) zugeordnet werden und haben die Erkenntnisse über die Biologie dieser Tiere sehr erweitert“, sagt Professor Brauckmann. „Die mongolischen Dinosaurier-Arten ähneln stark denen der Neuen Welt, was nicht verwunderlich ist, denn im Erdmittelalter hing ein Großteil der Kontinentalmassen eng zusam-

men, so dass weite Wanderungen möglich waren“, erläutert Frau Dr. Gröning.

Neu in der Sammlung ist auch der Abguss eines Dinosaurier-Schädels, der kürzlich durch aufmerksame Hobby-Paläontologen in Schichten des Ober-Jura am Langenberg am Harz-Nordrand geborgen wurde. Er ist etwa 150 Millionen Jahre alt. „Erhalten sind Teile der oberen Schädelpplatten und die beiden Unterkiefer mit den Zähnen. Die Reste stammen sicherlich von dem Jungtier eines Sauropoden, also einem langhalsigen, langschwänzigen Elefantenfuß-Dinosaurier, die für ihren Riesenwuchs bekannt sind. Der Fund ist neu und trägt daher noch keinen Namen, wird aber derzeit wissenschaftlich bearbeitet“, teilt Professor Brauckmann mit.

Die **Öffnungszeiten** der Geosammlung im Hauptgebäude der TU Clausthal, Adolph-Roemer-Straße 2A: *Dienstag bis Freitag: 9.30–12.30 und 14.00–17.00 Uhr. Am Samstag von 14.00–17.00 Uhr und am Sonntag von 10.00–13.00 Uhr.*



Ein 70 Millionen altes Dinosaurier-Ei aus der Mongolei und den Abguss eines Dinosaurier-Schädels konnten Frau Dr. Elke Gröning und Prof. Dr. Carsten Brauckmann für die Geosammlung erwerben. ■



# Das Ende des Horchpostens Schalke

Seit etwa 1959 waren französische Fernmeldeaufklärungseinheiten auf der Schalke im Oberharz stationiert. Der 64 m hohe Turm des Horchpostens wurde erst 1968, im Zuge einer gründlichen Modernisierung, errichtet. Seit dem Abrücken der französischen Truppen am 30. April 1993 stand das Gelände des Horchpostens Schalke leer. Der Abriss, der im September 2002 begann und mit der Sprengung des Turms am 11. Oktober seinen Höhepunkt erreichte, kostete insgesamt ca. 1,5 Mio. Euro. Der Turm fiel am 11.10.2002 um 11.00 Uhr bei herrlichem Sonnenschein. Mit dabei war das Kamerateam des Rechenzentrums der TU Clausthal.

Unter Leitung von Stefan Zimmer entstand eine Video-Dokumentation der Geschichte des Horchpostens, der vorbereitenden Abbrucharbeiten und der Sprengung vom 11.10.02. Den Auftrag hierzu erteilten das Staatliche Baumanagement Harz, welche das Vorhaben der Sprengung durchführte, und das Institut für Bergbau. Die Dokumentation wurde von Professor Dr.-Ing. Oliver Langefeld auf dem 13. Bohr- und Sprengtechnischen Kolloquium am 24. und 25. Januar 2003 in Auszügen kommentierend vorgestellt.

Das Multimedia-Team des Rechenzentrums überspielte gleich nach der Sprengung die Filmsequenzen der Sprengung auf den Video-Server der Universität; danach konnten diese Aufnahmen direkt von der Hauptseite der TU Clausthal im Internet (<http://www.tu-clausthal.de>) für einige Tage abgerufen werden; dauerhaft liegt der Film auf dem Video-Server des Rechenzentrums unter der unten angegebenen Adresse.

Dr. Fritz Keller vom Institut für Geophysik beobachtete die Sprengung von der Erdbebenstation des Instituts aus. Diese Station befindet sich 1100 Meter von dem gesprengten Turm. „Wir beobachteten eine Bodenverschiebung von etwa 2,5 Mikrometer, das sind 2,5 Millionstel Meter“, sagt Dr. Keller. „Das Signal, welches durch den am Boden aufliegenden Turm ausgelöst wurde, war etwa fünf Mal stärker, als die Bodenverschiebung, welche aus der Sprengung selbst resultierte.“ Mit einer mobilen Messstation zeichnete der Clausthaler Geophysiker Dr. Hartwig von Hartmann auf der Dammkronen des Zankwieser Teiches die seismischen Antwortsignale auf. Diese Station befand sich in ca. 2 Kilometer Entfernung. Hier konnte eine Bodenverschiebung von nur noch circa einem Mikrometer registriert werden.

Wie sah der Turm von innen aus, und wie wurde die Sprengung durchgeführt? Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld, Institut für Bergbau, war mit dabei. Hier sein Bericht: „Im Turm selbst führte eine enge Wendeltreppe mit 217 Stufen und ein Lastenaufzug zu den fünf



Ein Symbol des Kalten Krieges stürzte.

Foto: Dr. Peter Paul Klein

Stockwerken hinauf, in denen sich die Empfangs- und Sendeanlagen und wichtigsten Dienst- und Technikräume befanden. In der ersten Etage des Turmes befand sich neben den Sozialräumen auch der sogenannte „Einstieg zur Evakuierung“. Unter diesem Einstieg befand sich ein Textilschlauch, der mehr als zwanzig Meter senkrecht bis nach unten reichte. Der freie Fall der Personen wurde durch die Reibung im Schlauch gebremst und am Boden minderte ein dickes Kissen den Aufprall.

Neben dem Turm gab es auf dem Gelände noch drei Gittermasten mit Abhöreinrichtungen. Weiterhin gab es Garagen, Betriebsgebäude, Unterkunfts- und Verwaltungsgebäude, Aufenthalts- und Technikgebäude sowie eine KFZ-Werkstatt.

Für die Sprengung wurde ein etwa 75 m langes Fallbett hergestellt, auf das der Turm nach der Sprengung fiel. Dieses Fallbett wurde am Rand mit Schutz-Wällen versehen, um evtl. umherschleudernde Materialien möglichst rasch zu bremsen.

Auf der abgewandten Seite des Fallbettes wurde die Wand des Turmes nahe am Erdboden waagrecht geschlitzt, sozusagen als Sollbruchstelle. Die gegenüberliegende Wandseite des Turmes, die Fallbettseite, wurde mit einem ca. 2 x 3 Meter großen Loch versehen. Links und rechts dieses „Sprengmaules“ wurden die 209 Bohrlöcher in die Stahlbetonwand des Turmes gebohrt. Die Bohrlöcher waren 27 cm tief und hatten einen Durchmesser von ca. 25 mm. Beladen wurden die Sprengbohrlöcher mit Ammogelit 2

von Dynamit Nobel. In jedes Bohrloch wurden 100 g Sprengstoff geladen und mit einem nicht-elektrischen Zünder versehen. Man verwendet nicht-elektrische Zünder an Stelle der sonst üblichen Elektrozünder, um eine Beschädigung der Zünder und Drähte durch die scharfkantige Stahlbetonwand im Bohrlochinneren zu vermeiden, und um so Kabelbrüche und Kurzschlüsse auszuschließen, die eine vollständige Zündung aller Patronen vereitelt hätten.

Es wurden Millisekundenzünder mit zwanzig Zeitstufen benutzt, die gesamte Zünddauer reichte über eine halbe Sekunde. Die niedrigste Zeitstufe befand sich am Rand des „Sprengmaules“. Die Zünder wurden mit einem Sprengschlauch gezündet, in dem Sprengstoff nur innen aufgedampft ist. Zur Sicherheit vor Nässe werden diese Schläuche in der Fertigung vakuumverschlossen. In diesem Sprengschlauch erfolgt die Zündung derart schnell, dass die Kunststoffschläuche selbst dabei nicht zerstört werden.

Die Sprengschläuche ihrerseits wurden nun kreuzungsfrei mit Sprengschnur verbunden. Eine kreuzungsfreie Verlegung der Sprengschnur ist erforderlich, damit diese in der richtigen Reihenfolge die Patronen zündet. Aus diesem Grund wurden drei Sprengschnüre verlegt, die am Ende schließlich zusammengeführt wurden. An diesem Knotenpunkt wurde dann am Morgen vor der Sprengung der zentrale Elektrozünder angebracht, der über Leitungen mit der Zündmaschine verbunden war.“

# Auf dem Weg zu einem Endlager für hochradioaktive Abfälle

**Wo steht die Forschung für ein Endlager hochradioaktiver Abfälle in Deutschland und weltweit heute? Welche Aufgaben stehen für die Endlagerforschung in der näheren Zukunft an? Diesen Fragen widmete sich das „Clausthaler Kolloquium zur Endlagerung“ am 8. und 9. Mai an der TU Clausthal mit namhaften Referenten aus Industrie, Behörden und der Wissenschaft; es zog ein vorläufiges Resümee zur Endlagerforschung und wagte einen Ausblick.**

Ein Blick zurück: Im Jahr 2000 vereinbarten Bundesregierung und Energieversorgungsunternehmen den Ausstieg aus der Kernenergie – bei einer verbleibenden Restlaufzeit der Kernkraftwerke von maximal 30 Jahren. Für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle existiert derzeit kein Endlager in Deutschland. Das Endlager Morsleben sowie das Forschungsbergwerk Asse wurden geschlossen. Das Endlager Konrad für nicht-wärmeproduzierende Abfälle ist zwar genehmigt, mehrere Klagen sind aber vor dem Verwaltungsgericht anhängig. Die weitere Erkundung des Salzstockes Gorleben wurde aufgrund von Zweifeln der Bundesregierung an der Eignungshöflichkeit des Salzstockes mit einem dreißigjährigen Moratorium belegt.

Unstrittig ist aber für die Bundesregierung, dass für die entstandenen hochradioaktiven Abfälle und die in der verbleibenden Restlaufzeit der Kernkraftwerke anfallenden radioaktiven Abfälle ein Endlager in Deutschland in einer tiefen geologischen Formation gefunden werden muss; in welchem Wirtsgestein, ob Salz, Ton, Granit oder Gneis, muss beim gegenwärtigen Kenntnisstand offen bleiben. Ganz Deutschland

ist demnach a priori zu einer potentiell in Frage kommenden „weißen Landkarte“ möglicher Endlagerstandorte geworden.

Im Februar 1999 richtete der Bundesumweltminister Trittin den „Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd)“ ein, welcher im Dezember vergangenen Jahres seinen Abschlussbericht vorlegte (Phase I). In diesem werden detailliert technisch/naturwissenschaftliche Kriterien benannt, welche nach dem Vorschlag der Wissenschaftler für ein Auswahlverfahren gelten sollen. Die vom Bundesumweltminister eingesetzte Kommission empfiehlt der Bundesregierung, vom so genannten Ein-Endlager-Konzept für schwach/mittelradioaktive Abfälle und hochradioaktive Abfälle abzurücken und stattdessen zwei Endlager zu planen.

Dieses Konzept soll nun mit der Öffentlichkeit diskutiert werden. Dies läutet die Phase II der Entscheidungsfindung (Herstellung eines öffentlichen Konsenses über den Kriterienkatalog und über das Teilnahmeverfahren) ein. Im günstigsten Fall, so der Arbeitskreis in seinem Abschlussbericht, könnte dann ab 2005 mit der dritten Phase, der Auswahl möglicher Standorte, begonnen werden. Das ehrgeizige Ziel der Bundesregierung lautet, im Jahr 2030 ein Endlager für alle radioaktiven Abfälle in Betrieb zu nehmen.

Neben den technisch/wissenschaftlichen Kriterien schlägt der Arbeitskreis in seinem Abschlussbericht der Bundesregierung ein Verfahren vor, wie an diesem Auswahlverfahren die Öffentlichkeit beteiligt werden soll, damit dem späteren, nach Prüfungen mehrerer möglicher Standorte in den kommenden Jahren gefunde-

nen Endlagerstandort nicht das gleiche Schicksal einer vehementen Ablehnung durch die Bevölkerung blühen möge, wie dies in der Vergangenheit mit Gorleben geschah.

Die Transparenz des Verfahrens soll aufgrund der nachvollziehbaren Schritte der Entscheidungsfindung zu einer Beteiligungsbereitschaft der Bevölkerung im Sinne einer für alle annehmbaren Verfahrensgerechtigkeit beitragen. Der Arbeitskreis, dem von der TU Clausthal die Professoren Klaus Kühn und Karl-Heinz Lux angehörten, ist sich darüber im klaren, dass die Transparenz des Verfahrens keine Garantie für eine tatsächliche Beteiligungsbereitschaft der Bevölkerung und Regionen ist; umgekehrt wäre aber eine mangelnde Transparenz eine Garantie für das politische Scheitern des Projektes. Sollte bei diesem Weg der Bürgerbeteiligung keine Zustimmung der in Frage kommenden Regionen gefunden werden können, schlägt der Arbeitskreis eine Entscheidung durch den Gesetzgeber vor.

Das Kolloquium diskutierte vor dem Hintergrund dieser politischen Koordinaten die wissenschaftlichen Fragen. Das Kolloquium war zugleich das Ehrenkolloquium zum 65. Geburtstag von Herrn Professor Dr.-Ing. Klaus Kühn. Professor Kühn hat über mehr als 30 Jahre die Wege der Endlagerforschung in Deutschland maßgeblich mit geprägt und in der Welt als international angesehener Experte aktiv begleitet. In diesem Jahr wird er seine Tätigkeit bei der GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit – und an der TU Clausthal beenden, als Honorarprofessor aber noch einige Zeit sein Wissen und seine Erfahrung zur Verfügung stellen. ■

# Forum „Fit für die Uni“ lockte viele

Die im Rahmen des Forum Clausthal von Frau Prof. Dr. Regina Semmler-Ludwig organisierte Veranstaltung zog ca. 100 Interessierte in den Hörsaal der CUTEC- Institut GmbH. Die Referenten Prof. Dr. R. Semmler-Ludwig (Sportinstitut der TU Clausthal), PD Dr. Frank Döhring (Institut für Ernährungsphysiologie der TU München), Heinrich Hille und Joachim Schonart (Sportsoftware Hille GbRbmH Clausthal-Zellerfeld) sowie Ulli Pahlke (Psychosoziale Beratungsstelle des Studentenwerks Clausthal)

informierten über Zusammenhänge zwischen körperlicher und geistiger Fitness, gesunde Ernährung und gaben Tipps für ein optimales Fitnesstraining, sowohl für Einsteiger als auch für Fortgeschrittene und Leistungssportler. Entsprechend breit war die Palette der Teilnehmer: zahlreiche Studierende und Hochschullehrer der TU Clausthal sowie der TU Braunschweig und der Uni Göttingen, Schüler und Lehrer eines Sporttheoriekurses der Robert-Koch-Schule, Mitglieder örtlicher Sportvereine und des Skiinter-

nats, Mitarbeiter der Fachklinik „Am Hasenbach“ sowie weitere Sportinteressierte aus Clausthal-Zellerfeld und Umgebung. Ein herzliches Dankeschön gilt dem interdisziplinären Forum Clausthal der TUC, der CUTEC-Institut GmbH, der Deutschen Gesellschaft Club of Rome e.V., dem Hochschulsportverband Niedersachsen/ Bremen und der Landesunfallkasse Hannover.



# Förderpreise an der TU Clausthal 2002

**Der Verein von Freunden vergibt jedes Jahr drei Förderpreise für ausgezeichnete Diplom- und Doktorarbeiten. Die Preise dieses Jahres gingen an Dipl.-Geol. Boris Alexander Nadolny, Dipl.-Ing. Lothar Wondraczek und gemeinsam an Dr. Martin Kremer und Dr. Ingo Meents.**

Dipl.-Geol. Boris Alexander Nadolny wurde für seine Diplomarbeit mit dem Titel „Heißkathodenlumineszenz-Mikroskopie und ihre Anwendungen am Beispiel kambrischer Quarzite und Konglomerate aus Nordost-Spanien“ ausgezeichnet. Die Diplomarbeit wurde bei Professor Dr. Hans-Jürgen Gursky, Institut für Geologie und Paläontologie, angefertigt. Seine Aufgabe bestand darin, die neu in Betrieb genommene Heißkathodenlumineszenz-Mikroskopieranlage in Bezug auf die Analysemethodik zu standardisieren und zu optimieren sowie eine erste systematische Studie an Proben aus Spanien durchzuführen. Eine solche Weiterentwicklung einer Methode sei im Rahmen einer geologischen Diplomarbeit sehr ungewöhnlich, heißt es in der Urteilsbegründung zur Preisverleihung.

Dipl.-Ing. Lothar Wondraczek hat sich in seiner bei Professor Dr. Günther H. Frischat am Institut für Nichtmetallische Werkstoffe angefertigten Diplomarbeit mit der „Entwicklung eines Glas-Polycarbonat-Gradientenwerkstoffes“ befasst. Ziel seiner Arbeit waren grundlegende Untersuchungen und Aussagen zu Herstellung und Eigenschaften eines möglichen Glas-Polycarbonat-Verbundwerkstoffes mit einer Glasoberfläche außen und dem Kunststoff im Innern. Ein solcher Verbundwerkstoff könnte beispielsweise in Zukunft einmal die herkömmliche Automobilverglasung ersetzen. Die Arbeit ist zum Patent angemeldet.

Dr. Martin Kramer und Dr. Ingo Meents haben in ihrer Promotion, welche die erste gemeinschaftlich verfasste Doktorarbeit an der TU Clausthal ist, ein System zur integrierten Simulation von Produktionssystemen mit Namen EPOS entwickelt. Für die Planung und

Steuerung ihrer Produktion setzen viele Unternehmen computergestützte Planungsverfahren ein wie SAP/R3, SAP APO oder i2. Auch wenn diese Systeme inzwischen Tausende von Aufträgen gleichzeitig berücksichtigen können, besitzen sie oft nicht die Funktionalität der am Prozess gewachsenen Individuallösungen bzw. beruhen auf Annahmen, die in der betreffenden Produktionsumgebung nicht erfüllt sind. Insbesondere können die klassischen MRP- und ERP-Systeme zufällige Störungen und Prozessschwankungen nur vage abbilden. Abhilfe leistet hier EPOS (Enterprise Production Planning and Optimization System). Das System ist in den europäischen Werken der IBM Deutschland Speichersysteme GmbH im Einsatz.

Die Eberhard-Schürmann-Preise 2002 gingen an die Clausthaler Metallurgen Dipl.-Ing. Michael Dalbert und Dr.-Ing. Frank Schaub.

Dipl.-Ing. Michael Dalbert (Betreuer: Prof. Dr.-Ing. R. Döpp, Institut für Metallurgie) führte die Arbeit bei der Firma ThyssenKrupp Automotive Kloth-Senking Metallgießerei GmbH in Hildesheim durch. Herr Dalbert hat mit seiner Arbeit dem Unternehmen geholfen, den Ausschuß in der Herstellung einer Fahrwerkskomponente, von welcher täglich 4800 Stück hergestellt werden, um mindestens fünf Prozent zu senken. Wegen dieser sehr guten Leistung wurde er sofort von dem Unternehmen eingestellt.

Dr.-Ing. Frank Schaub studierte von 1992–1998 Chemieingenieurwesen an der TU Clausthal, welches er mit Auszeichnung abschloss. Am Institut für Metallurgie erarbeitete er bei Professor Dr.-Ing. Wolfgang Plushkell seine Promotion mit dem Thema „Stoffübergang in heterogenen Auftriebsfreistrahlen“; parallel hierzu studierte Dr.-Ing. Schaub Philosophie und Wissenschaftsgeschichte in Göttingen sowie Physik in Clausthal. In seiner Doktorarbeit befasste er sich mit einem für die Sekundärmetallurgie bedeutsamen Verfahrensschritt zur Raffination gelöster Begleitelemente, der Spülgasbehandlung von Stahlschmelzen. Beim Ein-

leiten von Spülgas bildet sich im Volumen der Metallschmelze ein heterogener Auftriebsfreistrahls hoher Förderkapazität aus. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Stoffübergang der entstehenden Blasenströmung im Modellsystem Wasser/CO<sub>2</sub> detailliert untersucht. Hierbei wurde auch der Stoffübergang über die freie Oberfläche berücksichtigt und separiert. Die entstehenden Blasenspektren wurden in Abhängigkeit der Einleitbedingungen ermittelt. Ein Vergleich mit einem mikrokinetischen Ansatz zeigt, dass die Turbulenz den Stoffübergang um etwa 10–20 % beschleunigt. Mittels Dimensionsanalyse konnte eine Gleichung entwickelt werden, die den Stoffübergang in heterogenen Auftriebsfreistrahlen ganz allgemein beschreibt und somit auf beliebige Gas-Flüssig-Systeme mit vergleichbarer Strömungscharakteristik anwendbar ist. Bei der Übertragung auf Stahlschmelzen ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit Betriebsergebnissen eines Elektrostahlwerkes.

Dr.-Ing. Martin Schmid wird für seine bei Prof. Dr.-Ing. Walter Knissel am Institut für Bergbau angefertigte Doktorarbeit mit dem diesjährigen Rudolf-Vogel-Preis ausgezeichnet. In seiner Promotion prüfte er nach eingehender Recherche vor Ort in den USA und in Australien das dort sich in Entwicklung befindende Verfahren des „Highwall Mining“ auf eine Anwendbarkeit im heimischen Braunkohlenbergbau. Beim „Highwall Mining“ handelt es sich um ein Abbaufahren im Übergangsbereich zwischen Tagebau und Tiefbau, das sich durch hohe Produktivität und niedrige Kosten gegenüber konventionellen Abbaufahren auszeichnet.

Mit dem Preis des Deutschen Akademischen Austauschdienstes wurde Dipl.-Ing. Hassan Lam-sahel aus Marokko ausgezeichnet. Er studierte in 11 Semestern Energiesystemtechnik und schloss sein Studium mit der Gesamtnote 1,4 ab.

Alle Preise wurden im Rahmen der Feierlichen Immatrikulation und Verabschiedung der Absolventen am Freitag, den 1. November verliehen. ■



# Schriftenreihe Clausthaler Geowissenschaftler wieder begründet

**Die Clausthaler Geowissenschaftler haben die traditionsreiche Clausthale Schriftenreihe wieder begründet. Am 30.01.2003 überreichten, stellvertretend für alle Beteiligten, Dr. habil. Ludger Feldmann, Professor Dr. Hans-Jürgen Gursky, Professor Dr. Carsten Brauckmann und Dipl. Geol. Michael Mutz den ersten Band der neuen Reihe dem Präsidenten der TU Clausthal, Professor Dr. Ernst Schaumann.**

Den Auftakt der neuen Reihe bildet die Habilitationsschrift von Dr. habil. Ludger Feldmann „Das Quartär zwischen Harz und Allertal“. Geplant ist, die Reihe auch für Nicht-Clausthale Autoren zu öffnen.

In der Reihe der „Clausthale Tektonischen Hefte“ wurden viele methodische Standardwerke veröffentlicht, die zur Pflichtlektüre angehender Geowissenschaftler wurden. Sie erschienen im

Verlag des 1997 verstorbenen Clausthale Professors Andreas Pilger und seiner Frau Ellen.

Die Produktivität der Clausthale Geowissenschaften spiegelt sich u.a. in der Zahl der 58 Clausthale Doktorarbeiten wider, die zwischen 1979–2000 in der Reihe der „Clausthale Geowissenschaftlichen Dissertationen“ veröffentlicht wurden.



# Virtuellen Reichtum erlangen an der Clausthaler Fußballbörse

**Millionär zu werden, ist seit kurzem an der Technischen Universität Clausthal gar nicht mehr so schwer: Einfach mitspielen bei der Internet-Fußballbörse am Institut für Wirtschaftswissenschaft und im Nu können Hunderttausende von ECU's gescheffelt werden; die Online-Fußballaktienbörse vermittelt Grundprinzipien der Finanzmärkte.**

Dummerweise steht die Abkürzung ECU bei den Clausthaler Ökonomen nicht für „European Currency Unit“ sondern für „Experimental Currency Unit“ (experimentelle Währungseinheit). Und natürlich geht es auch nicht um die Lust am schnöden Mammon sondern darum zu begreifen, welchen Gesetzmäßigkeiten Aktienmärkte folgen. Jeder Mitspieler erhält eingangs ein Startkapital von 180.000 ECUs „geschenkt“, die Hälfte virtuell in bar, die andere Hälfte als Streubesitz in einem Aktienfonds über alle Fußballvereine der 1. Bundesliga verteilt. Nun kann jeder Online-Börsianer Aktien der Fußballclubs, die er auf den vorderen Tabellenrängen oder als Sieger der Saison favorisiert, kaufen, potentielle Absteiger verkaufen, natürlich auch mit Tricks versuchen, den Markt zu manipulieren und die

vermutete Irrationalität seiner Mitspieler zu seinen Gunsten auszunutzen versuchen.

Der Clausthaler Volkswirt Professor Dr. Matthias Erlei beschreibt die Zielsetzung des Spiels, das für die Studenten seiner Vorlesungen entwickelt wurde: „Die Studenten können an diesem Quasi-Experiment, an dem sie selbst beteiligt sind, eine Reihe wesentlicher ökonomischer Grundeinsichten gewinnen. Wie funktionieren Finanzmärkte? Wir sehen beispielsweise, dass die Aktien aller Vereine zu Beginn der Saison systematisch überbewertet sind, es treten kurzfristig sogenannte spekulative Blasen auf. Die Kurse werden in schwindelerregende Höhen getrieben, die in keiner Weise die wirtschaftliche Potenz des Marktteilnehmers, in unserem Fall die Erfolgsaussichten des Fußballvereins, widerspiegeln. Zugleich sind die Preise der gehandelten Aktien aber auch im Allgemeinen eine Information über die Knappheit am Markt, in unserem Fall spiegelt die Rangfolge der Aktienkurse höchstwahrscheinlich recht gut die tatsächliche Tabellenfolge am Ende der Spielzeit wider. Und das heißt, unsere Studenten lernen, wie an einem Finanzmarkt Informationen über reale Ereig-

nisse – ein Verein schneidet sensationell gut ab, ein anderer verliert – in die Sprache der Preise, die Aktienkurse, übersetzt werden. Zugleich werden sie aber sehen, dass die allgemein gängige Vorerwartung der Wirtschaftslehre, Menschen verhielten sich am Markt ausschließlich rational, von der Realität vielfach durchbrochen wird. Online-Aktienbörsen gibt es zwar schon kommerziell, aber in unserem Fall sind die Transaktionen für unsere Studierenden im Nachhinein durchsichtig, weil wir sie alle vom Computer protokollieren lassen und damit anschließend auswerten können. Unsere angehenden Wirtschaftsingenieure werden also spielerisch zu ausgebufften Finanzhaie“, bringt Professor Erlei den Lerneffekt mit einem Augenzwinkern auf den Punkt.

Das Spiel, bei dem vorerst außer Spielfreude, dies dafür aber im Übermaß, nichts zu gewinnen ist, ist für alle, auch für nicht Universitätsangehörige, offen. Wer also gefahrlos lernen möchte, wie man sich am geschicktesten an der Börse verhält, der sollte sich einloggen unter:

<http://ra.wiwi.tu-clausthal.de/vwl/wahlboerse/>

# TU Clausthal: Spitzenplätze im „Absolventenbarometer“

**Herausragende Plätze im Urteil der Studentinnen und Studenten über die Serviceleistungen in der Lehre und der Betreuung durch die Hochschule bestätigen der Technischen Universität Clausthal beide zu Jahresbeginn 2003 erschienenen „Absolventenbarometer 2002“ des Berliner Instituts für Personalmarketing „trendence“. In der Deutschen Engineering-Edition, in der 6.487 Antworten von Studentinnen und Studenten der Fächer Elektronik, Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen aus 38 Hochschulen ausgewertet sind, konnte Clausthal in sieben von zehn Kategorien Spitzenplätze belegen.**

Den ersten Rang erzielte Clausthal auf folgenden Gebieten: Qualität und Verfügbarkeit der EDV-Infrastruktur, Qualität der Beratung, Kooperation der Hochschule mit der Wirtschaft und für den Service der Hochschule (Studentensekretariat, Prüfungs- und Immatrikulationsamt). Der zweite Platz gelang bei „Umfang und Qualität der studentischen Aktivitäten“ sowie der Betreuung durch die Professoren und

Dozenten. Auf einem guten dritten Platz liegt die TU bei der Qualität der Professoren und Dozenten in der Lehrstoffvermittlung. Aber auch was die Internationalität der Ausbildung (z. B. Austauschprogramme, Vorlesungen auf Englisch), Qualität und Aktivität der Bibliothek sowie den Praxisbezug der Ausbildung angeht, erteilen die Studentinnen und Studenten ihrer Universität Noten, die über dem Durchschnitt liegen.

Durchaus ähnlich verhält es sich bei der parallelen Befragung zur Deutschen IT-Edition von „trendence“ zu den Fachrichtungen Informatik, Mathematik und Physik mit einem Rücklauf von 5.011 Antworten aus 48 Hochschulen. Hier sorgten die Clausthaler Studentinnen und Studenten mit ihrem Lob in fünf von zehn Kategorien für einen ersten Platz ihrer Universität: Betreuung durch Professoren und Dozenten, Qualität und Verfügbarkeit der EDV-Infrastruktur, Qualität der Beratung, Kooperation der Hochschule mit der Wirtschaft sowie Service der Hochschule (Studentinnen und Studentense-

ekretariat, Prüfungs- und Immatrikulationsamt). Darüber hinaus liegt die TU auch in diesem fachlichen Sektor in drei weiteren Kategorien über dem Durchschnitt, was die Qualität in der Lehrstoffvermittlung, den Umfang und die Qualität der studentischen Aktivitäten sowie den Praxisbezug der Ausbildung angeht.

Vizepräsident Dr. Peter Kickartz ist den Studentinnen und Studenten der TU dankbar für die Anerkennung, die aus den Umfrageergebnissen von trendence sprechen: „Wohlwollen und Anerkennung unserer Studentinnen und Studenten sind eine wesentliche Stütze und eine Ermunterung für alle, es noch besser zu machen“. Besonders erfreulich sei es zudem, dass das Lob der Studentinnen und Studenten – nicht wie üblich – den guten Serviceleistungen in der Lehre gelte, sondern darüber hinaus gerade auch dem Studentensekretariat und dem Studienzentrum der Hochschule mit seinem Prüfungs- und Praktikantenamt sowie der Studienberatung.



# Regelung einer Clausthaler Anlage – per Internet – über den halben Erdball hinweg

**Kurz nach Weihnachten flog Dr.-Ing. Sorn Stoll vom Institut für Elektrische Informationstechnik der TU Clausthal zum nunmehr wiederholten Male nach Lateinamerika und hielt unter anderem an den Universitäten Guadalajara in Mexiko, La Paz in Bolivien und Rosario in Argentinien jeweils einen einwöchigen Kurs für angehende Ingenieure, welcher praxisorientiert in die Regelungstechnik einführt. Das war, für sich genommen, noch nichts Ungewöhnliches, entspricht es doch guter, gängiger Praxis in der akademischen Lehre. Neuartig an seinem Kurs war aber der umfangreiche Einsatz des Internets.**

„Zunächst erlernten die Studenten die Grundlagen und wurden anhand einiger Einführungsbeispiele mit der Thematik vertraut gemacht. Sodann übten sie via Internet die Vorgehensweise der Reglerentwicklung und studierten die Wirkungsweise ihres entworfenen Reglers an einem bei uns hier in Clausthal im Institut befindlichen Zwei-Tank-System. Per Internet regelten sie dafür aus Mexiko die Pumpe für den Zufluss unserer Anlage“, erklärte Dr.-Ing. Sorn Stoll. „Im Labor war eine Kamera installiert, die den Vorgang beobachtete. Ihre Bilder wurden per Internet nach Mexiko übertragen. Die mexikanischen Studenten sahen also, was sie taten, und dies nahezu so, als ständen sie in Clausthal neben der realen Anlage“, sagte Dr.-Ing. Sorn Stoll.

Die Kurse hielt Sorn Stoll in Spanisch, und so ist auch auf dem Server des Instituts die komplette dreistündige Vorlesung zur Regelung des Zwei-Tanks inklusive mehrerer Übungsaufgaben in Spanisch abgelegt. „Mit dem Internet gewin-



Dr.-Ing. Sorn Stoll bindet per Internet das Clausthaler Labor in seine Vorlesungen in Südamerika ein.

nen wir neue Möglichkeiten in der Lehre hinzu. Die Studenten werden unabhängiger von ihrem akademischen Lehrer. Jeder lernt nach seinem Tempo, gemäß seiner Auffassungsgabe und kann genau dann einer speziellen Frage auf den Grund gehen, wenn er Lust dazu hat“, sagte Stoll. „Dem habe ich exemplarisch mit diesem Angebot Rechnung getragen“, benannte Dr.-Ing. Stoll als sein Ziel. „Die Studenten können bei mir nun auch per Internet Hilfestellungen bekommen und ihre Prüfung ablegen.“

Insbesondere da, wo nicht mit physischen Gütern sondern mit Informationen gehandelt wird, eröffnet das Internet neue Möglichkeiten zur internationalen Kooperation; und gerade die Regelungstechnik, welche von nichts anderem handelt, als der planvollen Aufnahme, Verarbeitung und Ausgabe von Signalen zur Steuerung technischer Prozesse erweist sich als ideales Feld, um die vom Internet gebotenen Chancen zu nutzen.



# Neuankömmlinge

## Werkstoffwissenschaften WS 2002

Sieben Franzosen aus Metz nahmen zu diesem Wintersemester das Studium der Werkstoffwissenschaften mit dem Ziel des deutsch-französischen Doppeldiploms an der TU Clausthal auf; ein Clausthaler ist im Gegenzug zur Zeit an der Universität Metz. Und auch die neuen Partner-

schaften mit der Universität von Perth in Australien und der Moskauer Hochschule für Stahl und Legierungen tragen erste „Früchte“. So starteten zum letzten Wintersemester eine Studentin aus Australien und zwei Studenten der Moskauer Hochschule ihr Studium an der TU

Clausthal. Mit 20 Anfängern hat sich die Zahl der Neuankömmlinge im Studiengang Werkstoffwissenschaften im Vergleich zum Vorjahr verdoppelt.



# Photographien von Kristallen wie Pop Art Bilder

„Die Natur ist eine Künstlerin, man muss nur hinschauen“, sagt Dr. Alfred K. Schuster. In der Geosammlung der TU Clausthal sind nun in einer Sonderausstellung seine Aufnahmen von Kristallen chemischer Substanzen zu sehen. Sie könnten vom Pop Art Künstler Andy Warhol gestaltet sein.

Wie sind die Aufnahmen entstanden? Schwefel, Nikotin, Resorcin, Ascorbin-Säure und Jod wurden jeweils zu einem feinen Pulver vermahlen und anschließend bei Temperaturen zwischen 120–180 Grad Celsius aufgeschmolzen. Während des Abkühlens bilden sich Kristalle. Die dünnen Schichten fotografierte Dr. Schuster unter einem Durchlichtmikroskop bei polarisiertem Licht. Die Originalgröße der Bildausschnitte beträgt nur wenige Millimeter, jetzt sind die Kristalle in Postergröße zu sehen.

Die Farben der Bilder werden Polarisations- oder Interferenzfarben genannt und resultieren aus der Polarisation des Lichts in den Kristallen. „Polarisationsfarben hat jeder schon einmal gesehen“, sagt Dr. Schuster und nennt Beispiele: Eine Seifenblasenhaut, die im Sonnenlicht schillert, die Farben der Flügel eines Schmetterlings. Auch auf einer mit Öl verschmutzten Wasseroberfläche sind Polarisationsfarben sichtbar.

Einige Bilder können mehrere Male gemacht werden, die Kristalle sind stabil und bleiben über längere Zeit erhalten. Andere aber, zum Beispiel die Bilder von Jod, sind Unikate, denn schon wenige Sekunden nach der Belichtung sublimieren die Kristalle und werden zu einer braunen amorphen Masse.



Die Originalgröße der Bildausschnitte beträgt nur wenige Millimeter, jetzt sind die Kristalle in Postergröße zu sehen.

Größe und Anordnung der Kristalle ist willkürlich. „Die resultierenden Polarisationsfarben sind vom Spiel des Lichts mit dem Kristall abhängig“, sagt Dr. Schuster. In einigen Fällen gestaltete der Photograph durch Lichtbeugung, Phasenkontrast, Über- bzw. Unterbelichtung gezielt das entstehende Bild. „So ist jede Aufnahme ein Einzelstück“, erklärt Dr. Schuster.

In einem Kristallbild sieht Dr. Schuster die chinesische Stadt Schanghai – es sind steil aufsteigende Linien in einem giftigen Gelb. Ein

anderes könnte ein aufgeklappter Klavierflügel sein, und die Aufnahme des Nikotins erinnert entfernt an eine gotische Kathedrale.

Die Ausstellung ist seit Dezember 2002 bis Juli 2003 während der normalen **Öffnungszeiten** der Geosammlung zu besichtigen: Hauptgebäude der TU Clausthal, Adolph-Roemer-Straße 2A: **Dienstag bis Freitag: 9.30–12.30 und 14.00–17.00 Uhr. Am Samstag von 14.00–17.00 Uhr und am Sonntag von 10.00–13.00 Uhr.** ■

# Delegation aus Tjumen zu Besuch

Eine fünfköpfige Delegation von der Staatlichen Universität für Erdöl und Erdgas aus Tjumen in Russland besuchte am 20. März die TU Clausthal. Die Wissenschaftler wollten zum einen die Clausthaler Forschung zur Erdöl- und Erdgastechnik und zum anderen die modellhaften fächerübergreifenden Vorhaben der TU Clausthal zum Fernstudium per Internet kennenlernen. Für beide Gebiete hatte das niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur die „kleine, aber feine TU Clausthal“ den russischen Gästen empfohlen, erzählte Dr. Schwanenberg, der von Seiten der Deutschen Management Akademie in Celle, den Besuchsplan für die Delegation aufgestellt hatte. Empfangen

wurden sie zunächst im Institut für Geophysik von Professor Dr. Jürgen Fertig, in der Erdöl- und Erdgastechnik von Dr. Rüdiger Meyn und anschließend stellte Dr. Gerald Lange den Multimediahörsaal auf der Tannenhöhe vor.

Tjumen liegt in Westsibirien und ist mit dem Gründungsdatum 1586 die älteste russische Stadt in Sibirien. Die Stadt wuchs sprunghaft, seit dort Erdöl und Erdgas entdeckt wurde; die Provinz Tjumen verfügt über 70 Prozent der russischen Erdöl- und Erdgasvorräte. Die Universität bildet insgesamt 34.000 Studenten aus, viele davon auch im Abend- und Fernstudium, so dass Fortbildungsangebote per Internet für die Hochschule wichtig werden, wie der Vize-Rek-



Prof. Dr. Jürgen Fertig (li.) begrüßte die Gäste im Institut für Geophysik

tor, Prof. Dr. Gennady Andreevich eingangs berichtete. Das Land Niedersachsen pflegt seit 1992 eine Partnerschaft mit Tjumen.

# Clausthaler Sachverstand zur Beurteilung von Erdöllagerstätten gefragt

**Eine sechsköpfige Delegation aus Perm besuchte am 09.12. und 10.12.2002 die TU Clausthal. Zweck des Besuches: In der russischen Provinz Perm – sie ist doppelt so groß wie Niedersachsen und befindet sich am Ural – wurde unter einem wegen Wasserzutritts aufgegebenen Kalisalzbergwerk eine Erdöllagerstätte festgestellt. Wie aus dieser Lagerstätte Erdöl gefördert werden kann ohne die umliegenden Kalisalzbergwerke zu gefährden, werden möglicherweise die Clausthaler Professoren Blendinger, Fertig, Lux, Pusch und Reichtseder in einer grundsätzlichen Machbarkeitsstudie untersuchen.**

Gastgeber für die Gruppe um Professor Krasnostein von der Russischen Akademie der Wissenschaften war das Landesbergamt Clausthal-Zellerfeld und die Technische Universität Clausthal mit Unterstützung durch die niedersächsische Staatskanzlei und das Wirtschaftsministerium in

Hannover. Die hochkarätige Expertengruppe hielt sich insgesamt 14 Tage, vom 6. bis 23. Dezember, in Niedersachsen auf.

Nach der Begrüßung in der TU Clausthal durch den Vizepräsidenten für Forschung und Hochschulentwicklung, Professor Dr.-Ing. Hans-Peter Beck, und zuvor im Landesbergamt durch den Präsidenten, Herrn Lothar Lohff, lernten die russischen Gäste in Vorträgen und Institutsbesichtigungen die Clausthaler Möglichkeiten zur Begutachtung dieser Lagerstätte kennen.

Neben dem Kennenlernen der Institute für Erdöl- und Erdgastechnik, für Geophysik und der Abteilung Gebirgsmechanik am Institut für Bergbau stand für die Delegation die Besichtigung einer Vielzahl niedersächsischer Wirtschaftsunternehmen auf dem Programm. Es sollten Kooperationsmöglichkeiten und technische Lösungswege für den Aufschluss von Erdöl-

/Erdgaslagerstätten sowie die Fragen bei der Kaligewinnung (weltgrößte Kali-Vorkommen) und die Anlage von Untertage-Deponien in Kalibergwerken im Gebiet Perm erörtert werden. Auf allen angesprochenen Gebieten verfügt Niedersachsen über ausgeprägte Expertise. Im Juni 2002 hatte eine niedersächsische Fachdelegation mit Mitgliedern vom Landesbergamt und der TU Clausthal Fachgespräche in Perm geführt, die nun fortgesetzt und ausgebaut werden sollten.

Die Aktivitäten erfolgen zur Förderung von Wirtschaft und Wissenschaft im Rahmen der „Gemeinsamen Erklärung über die partnerchaftliche Zusammenarbeit zwischen dem Permer Gebiet und dem Land Niedersachsen vom 18. Januar 1993.“



# Mc Kinsey zu den Erfolgsprinzipien führender Stahlunternehmen

**Auf Einladung des Corps Montania sprach Dr. Peter Sander, Principal bei Mc Kinsey & Company, Frankfurt am Main, auf dem Haus der Montanen, Erzstraße 45, am 3. April um 17 Uhr zum Thema: „Konzepte für eine „verkannte“ Industrie – die Sicht eines Unternehmensberaters auf die Stahlindustrie“.**

Dr. Sander ist seit 1999 einer der Partner (Principal) bei Mc Kinsey und somit in der oberen Führungsebene des weltweit operierenden Unternehmens tätig. Dr. Sander studierte Mathematik und Informatik an der TU Clausthal (1983–88), promovierte 1993 in der Volkswirtschaftslehre an der Universität Karlsruhe (TH) und ist seitdem bei Mc Kinsey als Unternehmensberater mit den Schwerpunkten in der Grundstoffindustrie, vorzugsweise der Metallerzeugung- und -verarbeitung sowie für Bau- und Immobilienunter-

nehmen tätig. Dr. Sander ist Mitglied eines internen Expertengremiums von Mc Kinsey zur Grundstoffindustrie.

Einige Zahlen zur Entwicklung der Stahlindustrie: 1950 produzierten in Westdeutschland 236.000 Mitarbeiter 14 Millionen Jahrestonnen Rohstahl, die Beschäftigungsspitze wurde 1960 mit 417.000 Beschäftigten bei einer Jahresproduktion von 34 Millionen Tonnen erreicht. Heute produzieren, im Vergleich zu 1950, weniger als halb soviel Mitarbeiter rund drei Mal mehr Stahl. Trotz dieses gewaltigen Produktivitätsfortschrittes ist die Metallindustrie weltweit durch unbefriedigende Renditen gekennzeichnet, wie Dr. Sander im Jahr 2000 in einem Beitrag für die Zeitschrift METALL (54. Jg., 4/2000) konstatierte. Die Gründe seien eine stagnierende Nachfrage, Überkapazitäten und ein harter Kampf der Wettbewerber untereinander über

den Preis. Erschwerend kam in den letzten Jahren der Handelsstreit mit den USA hinzu, welche zum Schutz der heimischen Stahlindustrie Zollbarrieren errichtete.

Einige Metallunternehmen, wie Nucor in den USA, Ispat in Großbritannien und Rautaruukki in Finnland erzielten aber dennoch durchschnittliche jährliche Wachstumsraten zwischen elf bis 45 Prozent (1990–1997) sowie Kapitalrenditen vom 13 bis 22 Prozent (1995–1997). Aus über hundert Metallunternehmen wählte Mc Kinsey für eine Studie zehn der zurzeit wachstumsstärksten Metallunternehmen aus und analysierte deren Unternehmensstrategien: Was waren ihre Erfolgsrezepte? Die Ergebnisse der Studie stellte Dr. Sander, der an den Untersuchungen beteiligt war, in seinem Vortrag vor.



# Forschung für das Werkstück nach Maß

Ein Portrait der Professorin für Gießereitechnik Babette Tonn

Winter 1986. Babette Leube leistet nach dem Abitur ihr Praktikum in der Gießerei des Nähmaschinenwerkes in Wittenberge ab. In teilweise doch recht frostigen Werkshallen arbeitete sie in der Kernmacherei. Automatisierung hatte noch nicht überall Einzug gehalten, der Sand für die Kerne wurde in einer Schubkarre herangeschafft. „Die Lage der Technik in der DDR war desolat, so durfte ich Gießereitechnik an der Bergakademie Freiberg studieren, obwohl ich aus einem konservativen Elternhaus kam, und wir in der evangelischen Gemeinde aktiv waren.“

Im Wintersemester 1987/88 nimmt sie ihr Studium in Freiberg auf. Noch ahnte kaum einer die Wende: „Als meine Cousine in München im Frühjahr 1988 konfirmiert wurde, und ich einen Reiseantrag stellte, der natürlich abgelehnt wurde, war ich sehr enttäuscht und dachte, dass ich nicht vor meinem 60. Lebensjahr in den Westen Deutschlands reisen könnte.“ Ein steiler wissenschaftlicher und praktischer Weg – mit Stationen in Russland, Norwegen und der Schweiz – folgte. Im Januar dieses Jahres wurde sie zur Professorin für Gießereitechnik ernannt, im April brachte sie ihren Sohn zur Welt, und zum Oktober nahm sie nun ihre Arbeit im Institut für Metallurgie auf. Frau Prof. Dr.-Ing. Babette Tonn ist die dritte Professorin an der TU Clausthal und die erste in den Ingenieurdisziplinen.

Im Hauptstudium, im Jahre 1990, strebten ihre Kommilitonen ein Praktikum in „einer der schönen modernen Gießereien in Westdeutschland an“, berichtete Frau Professor Tonn. Sie jedoch wählte die entgegengesetzte Richtung. „Mir war klar: Das ist die letzte Chance, die Sowjetunion kennenzulernen.“ Und so geht sie mit einer Freundin für dreieinhalb Monate nach Leningrad; eine Erfahrung, die sie nicht missen möchte, sich behaupten in einem fremden Land und in einer fremden Sprache, von der sie, trotz ihrer Schul-Russischkenntnisse, in den ersten zwei Wochen kein Wort verstand.

Nach dem Examen im Jahr 1992 wird sie Stipendiatin des neuen werkstoffwissenschaftlichen Graduiertenkollegs in Freiberg. Schon in der Nähmaschinenfabrik in Wittenberge hatte sie einer der wenigen im Werk vorhandenen Siemens-Rechner angezogen, in Leningrad schrieb sie mit ihrer Freundin ein Computerprogramm, das Umwandlungsprozesse in Metallegierungen zu beschreiben half. Die Simulation der Abkühlung und des Erstarrungsprozesses einer Gusseisenschmelze ist der rote Faden in ihrem bisherigen wissenschaftlichen Weg. „Viel Wissen in der Gießereitechnik basiert bis heute noch auf

Erfahrungen“, sagt Frau Professor Tonn.

Seit ihrer Promotion und dem Forschungsaufenthalt an der Technischen Universität in Trondheim in Norwegen (1996–1998) widmet sich Frau Professor Tonn dem folgenden Fragenkreis:

- Wie beeinflussen die chemische Zusammensetzung der Schmelze und die für die Keimbildung zugesetzten Impfmittel, verbunden mit der Führung des Abkühlvorganges, das sich ausbildende Gefüge, beispielsweise im Falle eines Gusseisens?
- Warum führt die Zugabe eines bestimmten Elementes in die Schmelze zu Sphäroguss – eines Gusseisens, in welchen der Graphit in Kugelform vorliegt –, und warum bewirken „Störelemente“ die Ausbildung von lamellarem Graphit?

Die Festigkeit eines Gusseisens wird von der Festigkeit der Matrix und der des Graphits und seiner Form und Verteilung in der Matrix bestimmt, wobei die Festigkeit der Matrix um Zehnerpotenzen höher ist als die des Graphits. Lamellen besitzen eine weitaus größere Oberfläche als Kugeln. Daher bietet ein Gusseisen mit lamellenartigem Graphit der Rissausbreitung weit mehr Angriffsfläche als ein Sphäroguss. Ein



Prof. Dr.-Ing. Babette Tonn

in sich schlüssiges theoretisches Modell, das den Weg von der Schmelze bis zu den Werkstoffeigenschaften des Gusses vorhersagen könnte, wäre von enormen praktischen Wert. Es ist daher eines der Ziele, welche Frau Professor Tonn für ihre Forschung anstrebt.

Praktische Erfahrungen in der Führung eines Schmelzbetriebes konnte Frau Professor Tonn in ihrer Tätigkeit in der Schweizer Gießerei in Delémont von 1998 bis 2002 erlangen.

In dieser Zeit gelang es ihr, mit ihrem Team Veränderungen zu bewirken, mit welchen die Produktivität des Schmelzbetriebes um 40 Prozent gesteigert werden konnte.

Das Telefon klingelt in ihrem, noch kahlen Büro. Sie meldet sich: „Babette Tonn.“ Ein Schüler interessiert sich für die Gießereitechnik. Ein Besuchstermin ist rasch vereinbart. Und dann geht's in die Werkhalle des Instituts, ein Doktorand von Prof. Dr.-Ing. Reinhard Döpp, Dipl.-Ing. Sven Gattermann, führt einen Schmelzversuch durch.

# TU Clausthal setzt auf Simulation

Neues interdisziplinäres Zentrum eingerichtet

Nach Anhörung durch die Fachbereiche und den Senat und nach Begutachtung durch die Wissenschaftliche Kommission des Landes Niedersachsen hat das Präsidium der Technischen Universität Clausthal die Einrichtung eines Simulationswissenschaftlichen Zentrums beschlossen. Mit diesem Beschluss reagiert die TU Clausthal auf den Vorschlag des Ministeriums für Wissenschaft und Kultur, die Informatik in Clausthal durch einen neuen Forschungsschwerpunkt zu stärken und auszubauen. Mit der Einrichtung zweier zusätzlicher Informatik-Professuren wollen Ministerium und Hochschule die Attraktivität des Hochschulstandorts Clausthal in diesem Bereich nachhaltig verbessern.

Computergestützte Analyseverfahren spielen in der Forschung an der Technischen Universität

Clausthal traditionell eine wichtige Rolle. „Förderung und Stärkung der Forschung im Bereich der Simulation werden in Clausthal deshalb als eine essentielle Voraussetzung für den Fortschritt in den technischen Disziplinen und als eine strategische Aufgabe der Hochschule gesehen“, erläutert Vizepräsident Prof. Dr. Thomas Hanschke, der das Projekt und die Evaluierung durch das Ministerium und die Wissenschaftliche Kommission koordiniert. Hanschke weiter: „Der Wettbewerbsvorteil durch Simulation wird auch von Seiten der Industrie in zunehmendem Maß erkannt. In der Automobilforschung z.B. werden reale Crash-Tests durch Crash-Simulation unterstützt, wodurch nicht nur der Zeitaufwand sondern auch die Kosten der Versuchsdurchführung auf einen Bruchteil der ursprüng-

lichen Kosten gesenkt werden können.“

Mit der Konzentration der Simulationswissenschaften wollen die Clausthaler Wissenschaftler die Transferzeiten zwischen Hochschule und Industrie verkürzen und die Qualität der Anwendungen verbessern. Im Fokus stehen die Anforderungen der Praxis und die Integration der Simulation in die betrieblichen Abläufe von Unternehmen. Aus diesem Grund soll auch von Anfang an die Industrie in die Projekte und Aufgaben des Zentrums einbezogen werden. Schließlich sollen auch die Studenten Gelegenheit bekommen, im Rahmen von Praktika, Diplom- und Studienarbeiten an aktuellen Forschungsthemen auf dem Gebiet der Simulation mitzuarbeiten.

# Verabschiedung der Gesellen

Bis auf den letzten Platz gefüllt war der Senats-sitzungs-saal der Universität, als Vizepräsident Dr. Peter Kickartz die 22 jungen Gesellinnen und Gesellen gemeinsam mit den Ausbildern, den Meistern in den Werkstätten der Institute, und Herrn Krause als Vertreter der Oberberg-rat-Albert-Schule, sowie Herrn Wilhelm Lenk, stellvertretend für die Ausbilder, und Herrn Lothar Scholkemper vom Personalrat zur feierlichen Übergabe ihrer Zeugnisse begrüßte. Sechs Feinmechaniker, fünf Industrieelektroniker, vier Maschinenbaumechaniker, zwei Technische Zeichnerinnen, sowie je ein Chemielaborant, ein Werkstoffprüfer, ein Industriemechaniker, ein Kraftfahrzeugmechaniker und eine Tischlerin verließen in diesem Frühjahr mit dem Gesellenbrief in der Tasche ihre Ausbildungsstätte.

Von 140 Auszubildenden im Bereich der Maschinenbaumechaniker und Industrieelektroniker bestanden im Kammerbezirk 40, also rund 30 Prozent, ihre Prüfung nicht, sagte Studiendirektor Krause, alle jedoch, die von der TU Clausthal kamen, waren erfolgreich.

100 Ausbildungsplätze bietet die Universität in ihren Instituten an. Sie ist damit der größte Ausbilder im Oberharz, stellte Dr. Kickartz fest. In vielen Fällen stellte die Universität die Kammer-sieger der Innungswettbewerbe auf Bezirks- und Landesebene. Die Universität sei sich ihrer Verantwortung für die Ausbildung handwerklich



100 Ausbildungsplätze bietet die Universität in ihren Instituten an. Sie ist damit der größte Ausbilder im Oberharz.

interessierter Jugendlicher des Oberharzes bewusst und werde daher die Zahl ihrer Ausbildungsplätze in die Ziel- und Leistungsvereinbarungen mit dem Wissenschaftsministerium aufnehmen.

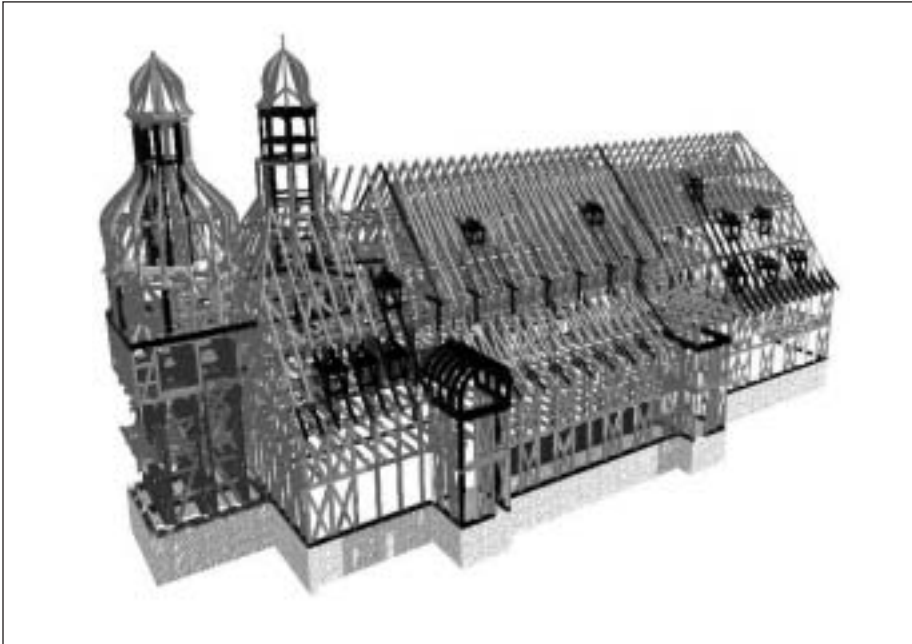
Die Maschinenbaumechaniker Jan Hardeland und Florian Müller, der Chemielaborant Sebastian Liebig, die Tischlerin Susanne Dörr, die Feinmechaniker Mirko Sternberg, David Chro-

mik und Jan-Tobias Zinnecker, sowie der Industrieelektroniker Tobias Kleindienst wurden für ihre mit „gut“, der Industrieelektroniker Knut Hahne mit der hervorragenden Note „sehr gut“ bestandenen Gesellenprüfungen geehrt. Vizepräsident Dr. Kickartz rüstete sie mit einem TU-Regenschirm, „einem im Oberharz mitunter nicht ganz unwichtigen Gebrauchsgegenstand“, aus. ■



# „St. Holz“ braucht Unterstützung

Förderverein zum Erhalt der Kirche Zum Heiligen Geist gegründet



Computeranimation der schadhaften Bereiche der Holzkonstruktion an der Südwestseite der Marktkirche. Darstellung von: Verf. Architekt + Sachverständiger AKN Dipl.-Ing. Norbert Möbus Bad Bevensen

Was wäre die Bergstadt Clausthal-Zellerfeld ohne die Marktkirche Zum Heiligen Geist? Sie ist das Wahrzeichen der Stadt seit über 360 Jahren. Vielen ehemaligen Clausthaler Absolventen der Bergakademie oder der TU ist sie bekannt als Erkennungszeichen der Unistadt schlechthin. Doch „St. Holz“ ist in Gefahr!

Der Zahn der Zeit hat dem Kirchengebäude im Laufe der Jahrhunderte zugesetzt, ohne dass grundlegende Sanierungsmaßnahmen vorgenommen wurden. Begutachtungen fanden in den vergangenen Jahrzehnten wiederholt statt, aber ohne dass Konsequenzen gezogen wurden. Nun ist es allerhöchste Zeit.

Das ergaben aktuelle Untersuchungen, die seit einigen Monaten vorliegen. Umfangreiche Feuchtigkeitsschäden waren auch mit dem bloßen Auge erkennbar, so dass schnelles Handeln geboten ist. Sichtbar sind die Schäden im Bereich der Orgel.

Da auch an den Balken des Fachwerkes Proben entnommen wurden, konnten auch nicht sichtbare Schäden erfasst werden. Deutlich wurde durch die Untersuchung: Ein längerer Aufschub könnte diesem historischen Bauwerk das Aus bringen.

Die ärgsten Schäden sind im Überblick:

- Das mit Walzblei gedeckte Dach ist undicht. 1973 wurde es in der Ursprungsdeckung neu eingedeckt. Diese erfolgte auf Grundlage der 1962 erschienenen technischen Regeln und orientierte sich an englischen Vorbildern. Aufgrund der hier andersartigen Klimaverhältnisse wurde sie wieder zurückgezogen. Die Anwendung der damals gültigen Regeln hat zum Abknicken der Bleihaften geführt und zur Entstehung von Rissbildungen mit der Folge, dass Regenwasser in die Dachkonstruktion eingedrungen ist.
- Die Eichenschwellen als Basis der Fachwerkkonstruktion liegen unbelüftet und ohne Trennschicht unmittelbar auf dem Fundament aus Harzer Grauwacke. Die andauernde Feuchtigkeit hat dazu geführt, dass mehr als 60 % der Eichenschwellen verfault sind. Wasserstau und Unterspülungen brachen das Fundament. Dadurch sanken Eckpfosten ab, so dass das Fachwerk verformt wurde, und die Statik beeinträchtigt ist. Der Giebel droht einzustürzen.
- Die Außenschalungen sind durch statische Mängel stark abgesackt und verformt.
- Ähnliche Schäden betreffen auch die Türme. Um dem Fachwerk durch Schwingungen nicht weiter zu schaden, wurde die größte der drei Glocken stillgelegt.

Ein umgehender Beginn von Instandsetzungsarbeiten ist also erforderlich. Zum Erhalt der Holzkirche sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Das Dach muss neu eingedeckt werden. Dafür soll wieder Walzblei verwandt werden.
- Der Austausch der verfaulten Schwellen und Arbeiten am Fundament sind dringend notwendig. Dafür muss das Bauwerk umfangreich abgestützt werden.
- Die verfaulten Balken des Dachstuhles müssen ausgewechselt werden. Zahlreiche Einzelheiten bedürfen der Erneuerung, zum Beispiel alle Dachgauben.
- Die vollständige Erneuerung der Außenschalung ist erforderlich.

Diese Arbeiten können witterungsbedingt nur in einzelnen Abschnitten ausgeführt werden das erleichtert die Finanzierung. Schätzungen im August 2002 ergaben vier Abschnitte zu je 2,5 Millionen €. ▶



Mehr als 60 % der Eichenschwellen sind verfault.



Detailfoto, das stellvertretend für nahezu sämtliche Schwellenbereiche einen Untersuchungsausschnitt der Schwellenkonstruktion des südlichen Langschiffs zeigt. Foto: Verf. Architekt + Sachverständiger AKN Dipl.-Ing. Norbert Möbus Bad Bevensen

Zur Sicherung eines östlichen Vorbaues der Kirche wurden kurzfristig von der Landeskirche Hannover und dem Kirchenkreis Clausthal-Zellerfeld 200.000 € zur Verfügung gestellt. Die akuten Schäden an diesem Gebäudeteil konnten so behoben werden.

Aber auch im Innenraum der Kirche sind umfangreiche Arbeiten zur Sicherheit des Zustandes erforderlich. Die in Blei eingefassten Fenster sind undicht, Schlagregen dringt in der Loge des ehemaligen Berghauptmanns ein. Die Schäden an der Fachwerkkonstruktion machen nach einer Sanierung umfangreiche Instandsetzungsarbeiten im Inneren der Kirche erforderlich. Für die Finanzierung der Maßnahmen im Inneren der Kirche ist die Gemeinde zuständig.

Die hat bereits zahlreiche Initiativen und Aktivitäten entwickelt. Hierbei zeigte sich, was auch privates Engagement bewirken kann. Von gebackenen Kirchenmäusen über gravierte Brillenutis bis hin zu einem Modell der Marktkirche als Spardose zeigte sich darin auch, wie sehr die Bevölkerung hinter der Kirche steht.

Um diesen Aktivitäten noch mehr Unterstüt-

zung zu gewähren, gründeten einige Clausthal-Zellerfelder Bürger – darunter die meisten ehemalige Absolventen der TU Clausthal – im Dezember 2002 den *Förderverein für den Erhalt der Clausthaler Holzkirche e.V.*

Neben einer Mitgliedschaft (Beitrag mindestens 25 € pro Jahr) kann auch über Spenden an den als gemeinnützig anerkannten Förderverein die Sanierung und damit der Erhalt der Kirche unterstützt werden.

Potenzielle Mitglieder und Spendenwillige erreichen den Verein unter folgender Anschrift:

*Förderverein für den Erhalt  
der Clausthaler Holzkirche e.V.*  
Landesbergamt  
Hindenburgplatz 9  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Telefon 05323-72-3201, 72-3203  
Telefax 05323-72-3573  
Bankverbindung:  
Volksbank im Harz eG  
BLZ 268 914 84  
Konto 99 999 700

Bei Spenden ist die Angabe des Namens im Verwendungszweck des Überweisungsträgers sowie eine kurze Nachricht an den Verein erforderlich, damit eine Spendenbescheinigung problemlos ausgestellt werden kann.

Der Verein hat sich zum Ziel gesetzt, möglichst viele Spenden für die notwendige Restaurierung zum Erhalt von St. Holz beizutragen, damit die Kirche nicht nur das 360-jährige Jubiläum (wie kürzlich leicht beschädigt) feiern kann, sondern bestimmt das 400-jährige in neuer Pracht.

Die „Gründungsväter“ wünschen sich, dass sich viele ehemalige Absolventen, die sich gerne an ihre Zeit in Clausthal erinnern, mit einem Obolus an dieser Aktion beteiligen.

# Tagung von Experten der Schweißtechnik

Kolloquium anlässlich der Berufung von ISAF-Direktor Prof. Dr. Volker Wesling mit rund 80 Teilnehmern

*Oliver Stade, Goslarische Zeitung*

Mit einem Kolloquium am 20. Februar stellte sich Prof. Dr. Volker Wesling Partnern aus der Industrie und anderen Hochschulen vor. Wesling trat im Oktober vorigen Jahres als Direktor des Instituts für „Schweißtechnik und Trennende Verfahren“ (ISAF) die Nachfolge von Prof. Dr. Draugelates an.

## Schweißen mit Laser

Rund 80 Fachleute nahmen an dem Treffen in der Technikum-Halle des ISAF am Instituts-Sitz im Clausthaler Feldgrabentrift an der Agricolastraße teil. Neben mehreren Mitgliedern des TU-Präsidiums war unter anderem auch Bürgermeister Michael Austen zur Eröffnung des Kolloquiums gekommen. Unter den Teilnehmern waren renommierte Wissenschaftler wie Prof. Dr. Dr. Haferkamp vom Institut für Werkstoffkunde der Uni Hannover und dem Laserzentrum aus der Landeshauptstadt, Prof. Dr. Doege vom Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen der Uni Hannover und Prof. Dr. Dilthey vom Institut für „Schweißtechnische Fertigungsverfahren“ der Rheinisch-Westfälischen

Hochschule (RWTH) Aachen.

Prof. Dr. Peter Dietz vom Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal sprach während der Tagung zum Thema „Bachelor, Master, Akkreditierung – Auswege aus der Bildungskrise?“, Prof. Dr. Haferkamp referierte über „Prozessintegrierte Wärmebehandlung beim Laserschweißen höherfester Stähle“.

## Nähe zur Wirtschaft

Das Treffen anlässlich seiner Berufung gab Institutsdirektor Prof. Wesling Gelegenheit, Kontakte zu knüpfen und deutlich zu machen, welche Schwerpunkte das ISAF setzt, das in Goslar eine Außenstelle betreibt. Volker Wesling plant im Feldgrabengebiet der Technischen Universität einen Hallenneubau, um die Raumsituation im Oberharz zu verbessern. Inhaltlich strebt er einen noch engeren Kontakt mit der Wirtschaft an. Pünktlich zu dem Treffen erschien ein neues Faltblatt, mit dem sich das ISAF vorstellt.



Prof. Dr.-Ing. Volker Wesling eröffnete die Tagung

# Über Meteoriten, Bierdosen und Synchrotronstrahlen

Eine Betrachtung zum hundertsten Geburtstag von Professor Günter Wassermann

Von Hans Joachim Bunge

Was haben Meteoriten und Bierdosen gemein? Beide bestehen aus Eisen – wenigstens manche von ihnen. Eisen ist ein polymorpher Stoff. Er tritt in zwei Formen auf, dem  $\alpha$ -Eisen mit kubisch-raumzentrierter Kristallstruktur und dem  $\gamma$ -Eisen mit kubisch-flächenzentriertem Gitter. Jeder Gegenstand aus Eisen – also auch Meteoriten und Bierdosen – hat in seinem Leben diese „Metamorphose“ (Phasenumwandlung) mindestens einmal durchlaufen, und je nach Wärmebehandlung vielleicht sogar mehrmals. In Eisenmeteoriten kann man die Auswirkung der polymorphen Umwandlung von der  $\gamma$ -Form, die man hier „Taenit“ nennt, in die  $\alpha$ -Form, „Kamazit“, besonders schön sehen. Die erstmalig von Widmannstätten (1820) an Schnittflächen von Eisenmeteoriten beobachteten regelmäßigen Muster haben seither Meteoritenforscher und Werkstoffkundler gleichermaßen fasziniert. (siehe z.B. Mehl, 1963). **Bild 1** zeigt Widmannstätten-Streifen auf der Schnittfläche eines Eisenmeteoriten, die hier ungefähr senkrecht zueinander verlaufen. Je nachdem, wie man die Schnittfläche legt, findet man aber auch andere Winkel. Die Streifen sind die Schnittlinien von Kamazit-Lamel-

len, die in vier verschiedenen Flächen (eines Oktaeders) liegen. Das kann man auch mit Röntgenstrahlen sehen. **Bild 2** zeigt hell-dunkel *Beugungs*-Kontraste der Lamellen in einer Röntgendurchstrahlungsaufnahme der Scheibe von Bild 1 (Weiß & Bunge 2001).

Auch bei technischen Eisenwerkstoffen beobachtet man ganz ähnliche Muster. Allerdings sind sie hier meistens viel kleiner und sind dann nur im Mikroskop sichtbar, und häufig sind sie auch nicht so schön regelmäßig ausgebildet wie in Meteoriten. Sie haben aber dieselbe Ursache, nämlich die polymorphe Umwandlung von  $\gamma$ -Eisen, das der Metallkundler „Austenit“ nennt, in  $\alpha$ -Eisen, „Ferrit“ oder auch „Martensit“. Diese Umwandlung spielt eine ganz zentrale Rolle in der Werkstoffkunde der Eisenwerkstoffe. Mit ihr haben sich Generationen von Werkstoffwissenschaftlern beschäftigt, so auch Professor Günter Wassermann, Leiter des Instituts für Metallkunde und Metallphysik der Bergakademie/TU Clausthal von 1944 bis 1976, an dessen hundertsten Geburtstag am 19. September 2002 hier erinnert wird.

## Die Metamorphose des Eisens

Wenn sich ein  $\gamma$ -Eisenkristall (Austenit, Taenit) während der Abkühlung bei etwa 911°C in mehrere  $\alpha$ -Eisenkristalle (Ferrit, Kamazit) umwandelt, wie z.B. in Bild 1 geschehen, so stehen die Kristallachsen dieser neuen Kristalle in festen Beziehungen zu den Achsen ihres „Mutter“-Kristalls. Zunächst einmal sind dabei die dichtest gepackten Atom-Ebenen beider Kristalle parallel. Darüber sind sich alle Untersuchungen einig. Um den Orientierungszusammenhang vollständig festzulegen, muss man dann noch angeben, welche Kristall-Richtungen in diesen beiden Ebenen parallel zueinander sind. Hierfür gibt es nun aber zwei verschiedene Modelle, nach Kurdjumov und Sachs (1930) einerseits, sowie nach Nishiyama (1934) und Wassermann (1935) andererseits.

Ebenen	Richtungen	
$\{110\}_\alpha \parallel \{111\}_\gamma$	$\langle 111 \rangle_\alpha \parallel \langle 110 \rangle_\gamma$	K-S
	$\langle 110 \rangle_\alpha \parallel \langle 112 \rangle_\gamma$	N-W (1)

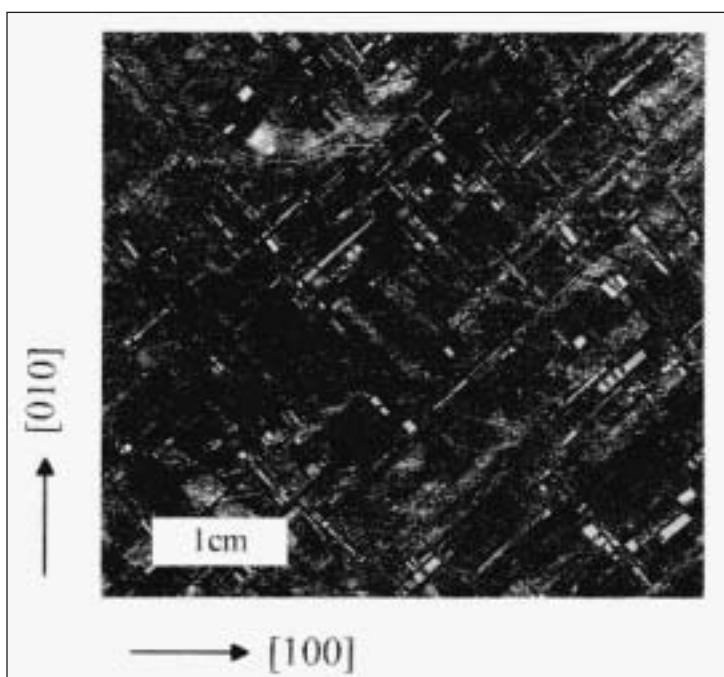


Bild 1: Widmannstätten-Figuren in der Schnittfläche eines Eisen-Nickel Meteoriten

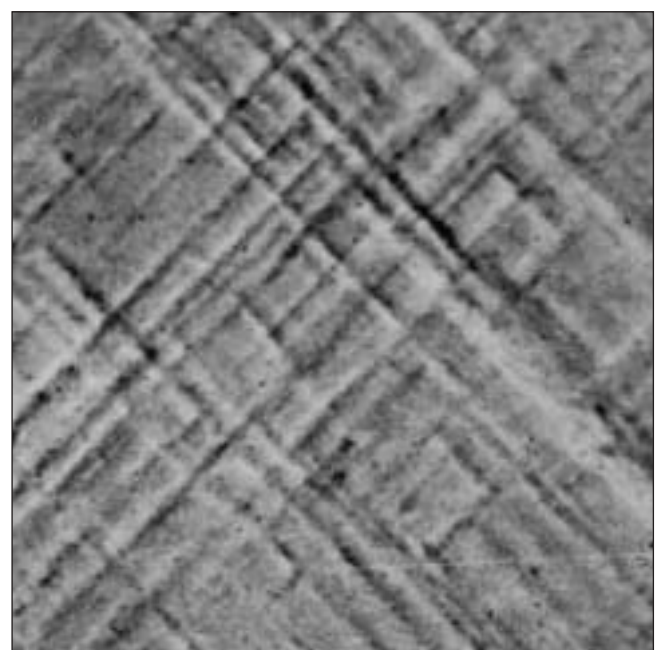


Bild 2: Hell-dunkel Beugungs-Kontraste in einer Röntgen-Grobstruktur (Durchstrahlungs-) Aufnahme der Scheibe von Bild 1

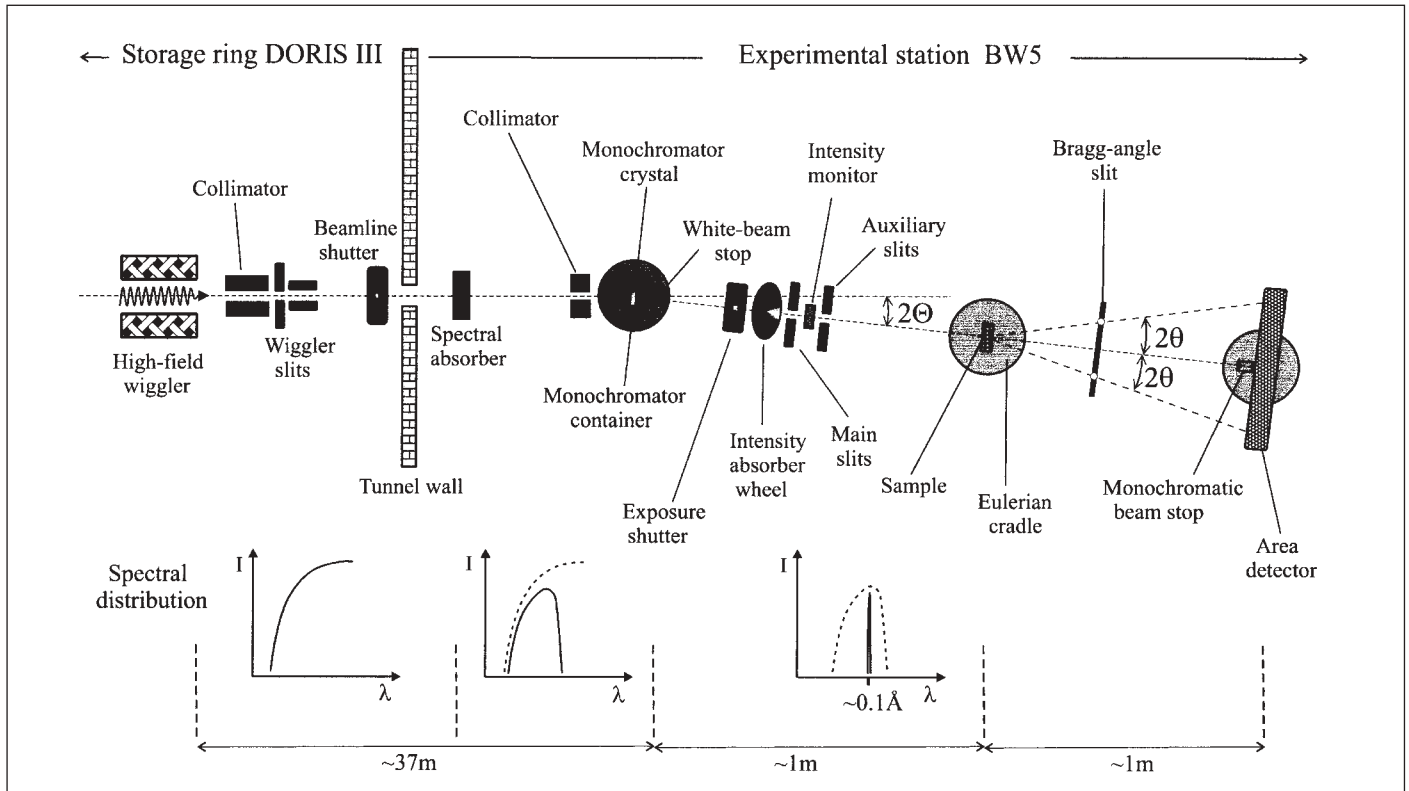


Bild 3: Schematischer Aufbau des Röntgendiffraktometers am Hochenergie-Strahlrohr BW5 am Speicherring DORIS (HASYLAB) im Forschungszentrum DESY, Hamburg

Obwohl sich beide Modelle bezüglich des *strukturellen* Zusammenhanges der  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Kristalle stark unterscheiden, ist ihre experimentelle Bestätigung schwierig, da sie nur um  $5,23^\circ$  voneinander entfernt sind (siehe z.B. Haasen, 1974).

Mit einer neuen Messtechnik, die hochenergetische Synchrotronstrahlung anstelle der sonst üblichen Röntgenstrahlung aus Röntgenröhren (wie in Bild 2) verwendet, konnten wir die Orientierungsbeziehung Gl. (1) mit wesentlich höherer Genauigkeit als bisher möglich untersuchen.

**Bild 3** zeigt den schematischen Aufbau des Röntgendiffraktometers am Strahlrohr BW5 im HASYLAB im Forschungszentrum DESY in Hamburg (Wcislak et al., 2002). Mit Hilfe eines Monochromators wird ein Röntgenstrahl der Wellenlänge  $\approx 0,1 \text{ \AA}$  aus dem Synchrotronstrahl ausgeblendet und in bekannter Weise an der Probe gebeugt. Abweichend von der konventionellen Technik verwenden wir ein zusätzliches Blendensystem (die Bragg-Winkel-Blende) und eine kontinuierliche „Abbildungstechnik“ mit beweglichem Flächendetektor, die ein sehr hohes Winkelauflösungsvermögen erlaubt. Ungewöhnlich ist auch die kurze Wellenlänge von  $\approx 0,1 \text{ \AA}$ , die es erlaubt, auch dicke Proben, wie in diesem Falle eine 12 mm dicke Platte des Eisenmeteoriten, leicht zu durchstrahlen.

Das mit dieser Apparatur erhaltene Beugungsbild des Meteoriten ist in **Bild 4a** wiedergegeben. Es zeigt die Verteilung der  $[110]$ -Richtungen der  $\alpha$ -Kristalle, die  $(110)$ -Polfigur, die aus einem großen  $\gamma$ -Eisenkristall (vor der polymor-

phen Umwandlung) hervorgegangen sind, dessen Orientierung im Bild angegeben ist. **Bild 4b** zeigt die idealisierte Verteilung, die sich aus diesem Ausgangskristall nach Gl. (1) ergibt. Man sieht, dass alle Orientierungen zwischen den beiden Beziehungen KS und NW von GL. (1) vorkommen. Tatsächlich bildet die Nishiyama-Wassermann-Beziehung den Mittelpunkt der Verteilung, von dem aus sich Orientierungen gleichmäßig nach beiden Seiten bis zu den beiden Grenzwerten nach Kurdjumov-Sachs erstrecken. Im experimentellen Bild ist dieser Bereich nicht ganz kontinuierlich belegt, da nur eine begrenzte Anzahl von Widmannstätten-Lamellen von Bild 1 bei der Messung vom Röntgenstrahl erfasst wurde. Wegen der hohen Symmetrie kubischer Kristalle beschreibt Gl. (1) zwölf Symmetrievarianten der Nishiyama-Wassermann-Beziehung, die sich bis zu den vierundzwanzig Enden gemäß der Kurdjumov-Sachs Beziehung erstrecken. Eine dieser Varianten ist in Bild 4b hervorgehoben. Aus Bild 4a darf man schließen, dass dieser gesamte Bereich als das eigentliche „Strukturelement“ der Orientierungsbeziehung Gl. (1) anzusehen ist. Danach ist die Parallelität der dichtest gepackten Ebenen beider Kristalle bis auf  $\pm 1,5^\circ$  sehr genau erfüllt, während die Parallelität der Richtungen nicht streng erfüllt ist. Vielmehr kann sie über einen relativ weiten Bereich von  $10,5^\circ$  völlig frei variieren. Die linke Seite von Gl. (1) beschreibt vier Varianten von „Ebenen-Parallelitäten“. Der kürzeste Winkelabstand zwischen je zwei von diesen beträgt

ebenfalls  $10,5^\circ$  entlang der gestrichelten Linien in Bild 4b. Man sieht aus Bild 4a, dass es entlang dieses kürzesten Abstandes zusätzlich auch noch eine Streuung von Orientierungen zwischen den „nicht-koplanaren“ Orientierungsvarianten gibt.

Da der Meteorit im Weltraum sehr langsam abkühlte – man nimmt an mit 1 K/Mio Jahre (Heide, Wlotzka, 1995) – erfolgte die polymorphe Umwandlung sehr nahe dem thermodynamischen Gleichgewicht und daher mit sehr geringer Streuung um die idealen Werte von Gl. (1) herum, und sie verlief nahezu vollständig. Vom ursprünglichen  $\gamma$ -Kristall sind nur noch ganz geringe Reste ( $< 0,1 \%$ ) vorhanden. Dennoch kann man die Orientierung dieses Mutterkristalls recht gut aus seinen Umwandlungsprodukten rekonstruieren, s. Bild 4a. Meteoriten sind daher unübertreffliche Proben zur Überprüfung der Orientierungsbeziehung der polymorphen Umwandlung  $\gamma \rightarrow \alpha$  des Eisens. Aber man braucht eben auch eine hochauflösende Messtechnik, wie oben geschildert, um dies nachweisen zu können. (Konventionelle Röntgeneräte und auch Neutronenbeugung besitzen dieses Auflösungsvermögen nicht, siehe z.B. Höfler et al. 1988).

### Die Zipfelbildung – ein alter Hut?

Bierdosen und andere Getränkedosen sind überwiegend aus Eisen oder Aluminium. Zu ihrer Herstellung muss das Material zunächst aus der Schmelze erstarren. Dann wird es warm und ▶



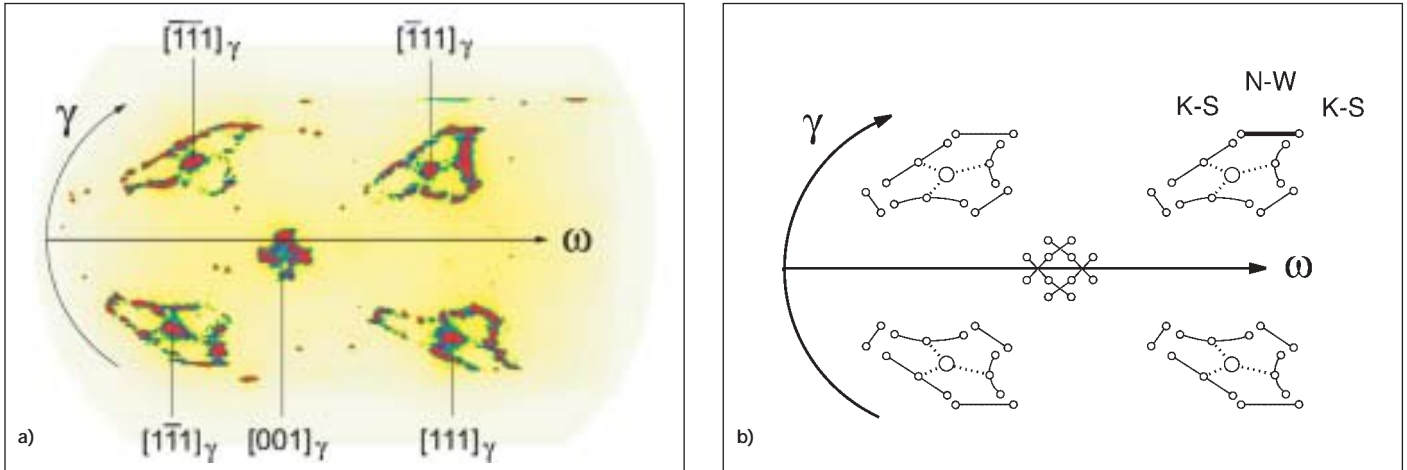


Bild 4: Beugungsabbildung der  $\langle 110 \rangle_\alpha$ -Richtungen (Polfigur) in dem Meteoriten von Bild 1

- a) das experimentelle Beugungsbild: Die eingezeichneten Richtungen geben die Orientierung des ursprünglichen  $\gamma$ -Kristalls an.
- b) theoretisch berechnete Verteilung der Nishiyama-Wassermann und Kurdjumov-Sachs Orientierungsbeziehung, Gl. (1) mit kontinuierlichem Übergang zwischen beiden. Die gestrichelten Linien zeigen nicht-koplanare Orientierungsübergänge an.

danach kalt gewalzt, und schließlich wird es eventuell noch einmal wärmebehandelt. Alle diese Prozesse beeinflussen die Orientierungen der Kristallite, d.h. die Textur des Materials. Beim Eisen erfolgt, zwischen Warm- und Kaltwalzen, noch, wie oben geschildert, eine Orientierungsänderung während der polymorphen Umwandlung. Wenn man aus einem so entstandenen dünnen Blech dann schließlich eine Bierdose tiefziehen will, so erlebt man häufig eine unangenehme Überraschung. Die Dose hat Zipfel, **Bild 5**, und ihre Wandstärke ist ungleichmäßig. Die Zipfel kann man abschneiden, das verteuert zwar den Herstellungsprozess, die ungleichmäßige Wandstärke kann man aber nicht mehr beheben. Es hat daher eine schier unübersehbare Zahl von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten gegeben mit dem Ziel, eine „planar-isotrope“ Orientierungsverteilung der Kristallite in Tiefziehblechen zu erzeugen und dadurch die Zipfelbildung zu vermeiden. Zipfelbildung oder „Earing“ ist daher so etwas wie das „Aushängeschild“ der Texturforschung geworden. An dieser Entwicklung waren Professor Wassermann und sein Team in Clausthal maßgeblich beteiligt. Einen guten Überblick darüber erhält man aus der Monographie „*Texturen metallischer Werkstoffe*“ von G. Wassermann und J. Grewen (1962), die auch heute noch als die „Bibel“ dieses Gebietes gilt.

Aus diesem Buch erkennt man aber auch, dass Texturen auf fast alle Werkstoffeigenschaften Einfluss haben, nicht nur auf die plastische Anisotropie, die zur Zipfelbildung führt. Auch treten Texturen in praktisch allen kristallinen Stoffen auf – nicht nur in metallischen Werkstoffen. Hiermit befasste sich – in guter Wassermannscher Tradition – eine fakultätsübergreifende Forschergruppe der TU Clausthal (siehe Bunge & Schwarzer 1998).

Obwohl das Problem der Zipfelbildung sozusagen zum „Urgestein“ der Texturforschung gehört, ist das Problem auch heute noch ebenso aktuell wie vor 50 Jahren. Bierdosen sollen nämlich immer dünner werden, ohne jedoch ihre Stabilität zu verlieren. Außerdem will man sie immer rationeller herstellen, z.B. durch Gießwalzen und möglichst „aus einer Hitze“. Das erfordert immer neue Überlegungen, wie man dabei das empfindliche „Gleichgewicht“ einer planar-isotropen Kristallanordnung im Werkstoff erreichen und durch alle Produktionsschritte hindurch aufrecht erhalten kann. Da man die physikalischen Grundprozesse der plastischen Umformung von Werkstoffen schon recht gut kennt, möchte man die Texturentstehung im jeweiligen Produktionsprozess möglichst anhand mathematischer Modelle vorherberechnen können (siehe z.B. Bunge et al., 1995). Anschließend möchte man dann, z.B. mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode, das Fließen des Werkstoffes bei beliebigen Umformprozessen (nicht nur für zylindrische Bierdosen) berechnen können (siehe z.B. Dawson & Boyce, 2002). Mathematische Methoden (Bunge, 1969, 1982) und ihre Implementierung im Computer (Raabe, 1998) bestimmen daher heute maßgeblich das Bild der Texturforschung.

### Rekristallisation und Mikrostruktur

In beiden Bierdosen-Werkstoffen, Eisen und Aluminium, kann man Zipfelfreiheit durch spezielle Steuerung der Rekristallisation erreichen. Auch hierzu kann die neue Messtechnik mit hochenergetischer Synchrotronstrahlung einen wichtigen Beitrag liefern. **Bild 6** zeigt die Verteilung der  $[111]$ -Richtungen der Kristallite in einem Nickelblech nach drei verschiedenen Behandlungen: kaltgewalzt, teil-rekristallisiert und vollständig

rekristallisiert. Wegen der extrem hohen Winkelauflösung dieser Methode kann man die rekristallisierten Körner als einzelne Punkte erkennen, während das verformte, noch nicht rekristallisierte Material eine kontinuierliche Dichteverteilung zeigt. Dadurch ist es leicht möglich, beide Teile getrennt zu sehen, was mit den bisherigen, konventionellen Texturmessmethoden nicht möglich war. So kann man Keimbildung und Wachstum der Keime während des Rekristallisationsprozesses, und speziell ihre Orientierungsverteilungen, getrennt untersuchen. Auch das ist ein „Dauerbrenner“ in der Metallkunde, ►



Bild 5: Tiefgezogenes Näpfchen mit starken Zipfeln

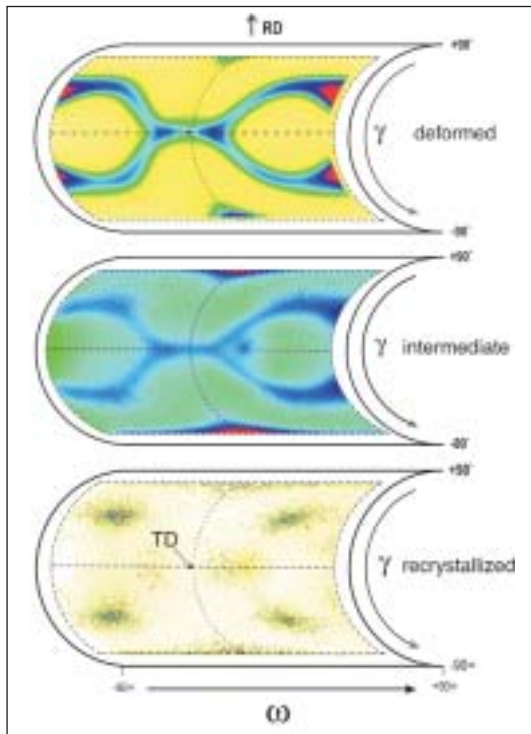


Bild 6: Beugungsabbildung der [111]-Richtungen (Polfiguren) eines Nickelbleches in drei verschiedenen Zuständen  
a) kaltgewalzt, 93.3%  
b) danach gegläht, 2 min, 600°C, teilrekristallisiert  
c) nach dem Walzen gegläht, 3h, 600°C, vollständig rekristallisiert

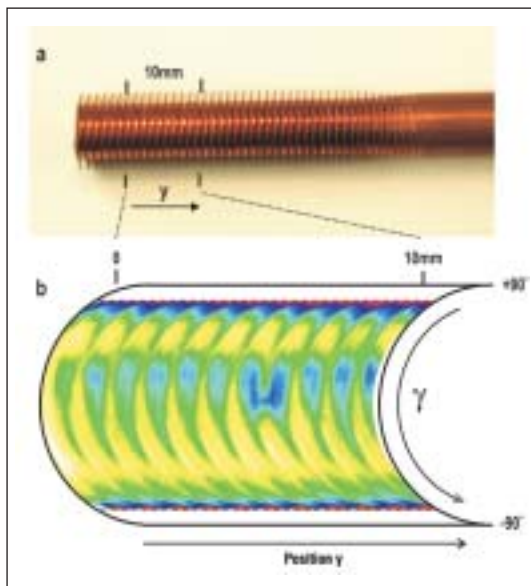


Bild 7: Lokale Texturmessung in einem Rippenrohr aus Kupfer  
a) Bild des Rohres; das Rohr wurde mit einem Strahl des Querschnittes 0,1\*1 mm längs der Achse gescannt.  
b) Die Intensitätsverteilung des Beugungsringes (111) längs der Achse des Rohres zeigt die stark inhomogenen lokalen Texturen (Texturfeld).

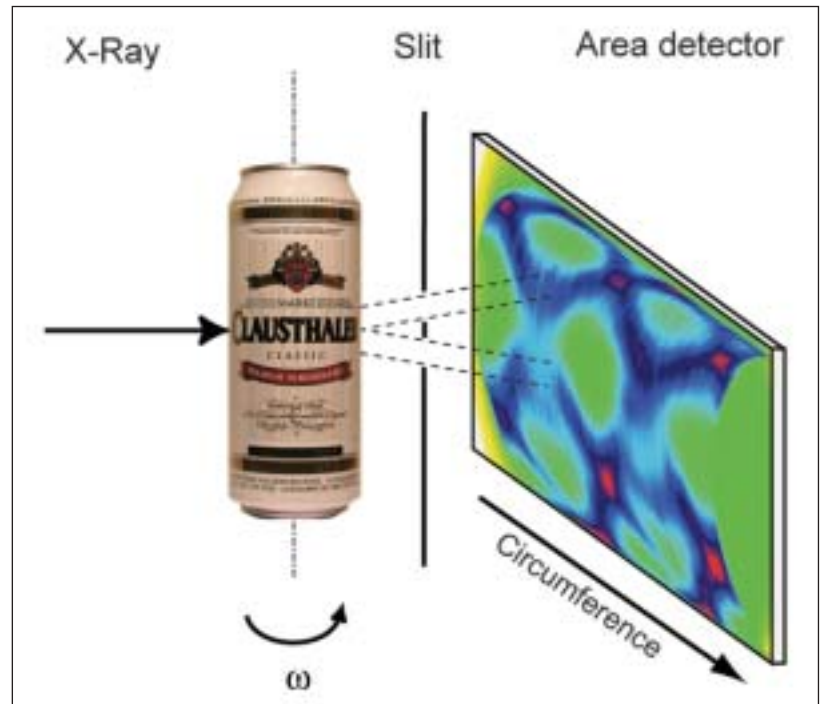


Bild 8: Texturscan längs des Umfangs einer Bierdose

Man sieht sehr eindrucksvoll die Inhomogenität der Textur des Materials längs des Umfangs. (Es ist zu erwähnen, dass das Beugungsbild nicht an der hier abgebildeten Dose, sondern an einem anderen Fabrikat aufgenommen wurde.)

mit dem sich Professor Wassermann und sein Institut ausführlich beschäftigt haben.

Die neue Messmethode hat nicht nur ein extrem hohes Winkelauflösungsvermögen, wie in Bild 6 illustriert, sondern auch ein wesentlich besseres Ortsauflösungsvermögen als konventionelle Texturuntersuchungsmethoden. Bild 7a zeigt z.B. ein Rippenrohr aus Kupfer, das als Wärmetauscher Verwendung findet, Bild 7b das zugehörige Beugungsbild, einen Teil des (111)-Reflexes, gemessen mit einer Ortsauflösung von 0,1 mm längs der Achse (y-Richtung) des Rohres. Man sieht, dass die durch „Presswalzen“ erzeugten Rippen eine ganz andere Textur aufweisen als der Körper des Rohres.

## Werkstofftechnik und Bauteilinspektion

Um schließlich noch einmal auf Bierdosen zurückzukommen, so kann die neue Messtechnik mit hochenergetischer Synchrotronstrahlung auch zur schnellen, zerstörungsfreien Inspektion technischer Produkte – wie hier einer Bierdose – verwendet werden. Wie in Bild 8 zu sehen, wurde die Dose bei der Mes-

sung um ihre Achse gedreht, während der Detektor kontinuierlich verschoben wurde. Dadurch erhält man eine kontinuierliche „Abwicklung“ der Textur in der Wandung der Dose längs des Umfangs. Das beschreibt zwar nicht die komplette Textur des Materials, es kann aber zur schnellen Inspektion der Textur im fertigen Produkt dienen. Es spielt übrigens keine Rolle, ob die Dose bei der Messung voll oder leer ist. (Der Experimentator kann das Bier also vor oder nach der Messung austrinken). Das ist mit keiner anderen Messmethode zu erreichen, auch nicht mit Neutronen. Bild 8 zeigt sehr anschaulich die Inhomogenität der Textur längs des Umfangs der Dose als Ursache für Zipfel und ungleichmäßige Wandstärke.

## Zusammenfassung

Seit Kurzem steht den Materialwissenschaften eine neue, hochleistungsfähige Untersuchungsmethode – die Beugung hochenergetischer Synchrotronstrahlung – zur Verfügung. Das sind Röntgenstrahlen mit Wellenlängen um 0,1 Å, wie sie in der Werkstofftechnik bisher zur Absorptionsabbildung (*Grobstrukturuntersuchung*) verwendet wurden, die aber jetzt für Beugungsuntersuchungen (*Feinstrukturanalyse*) benutzt werden. Diese Strahlen weisen einige Eigenschaften auf, deren *Kombination* sie zu einem überragenden und äußerst vielseitigen Hilfsmittel der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik macht. Das sind unter anderem: ►

- Das **Winkelauflösungsvermögen** ist um mindestens zwei Größenordnungen besser als bei konventioneller Röntgenbeugung.  
*Das erlaubt die Messung extrem scharfer Texturen, sowie die Abbildung der einzelnen Kristallite im Innern vielkristalliner Stoffe.*
- Das **Ortsauflösungsvermögen** ist ebenfalls um ein bis zwei Größenordnungen höher.  
*Das ermöglicht die Untersuchung von Werkstoffinhomogenitäten aller Art, z.B. in Gradientenwerkstoffen oder nach inhomogenen Umformprozessen.*
- Harte Synchrotronstrahlung hat sehr große **Eindringtiefe** in allen Materialien, vergleichbar oder sogar größer als bei Neutronen.  
*Das erlaubt die zerstörungsfreie Untersuchung großer technischer Werkstücke, sowie ganzer Baugruppen oder gekapselter Proben in speziellen Umgebungen.*
- Die **Strahlintensität** ist um drei bis vier Größenordnungen höher als die konventioneller

Röntgenstrahlen.

*Das erlaubt sehr kurze Belichtungszeiten, z.B. zur Untersuchung der Prozesskinetik.*

Die neue Technik erweitert die bisherigen Untersuchungsmethoden der Texturanalyse einerseits im Bereich der **Grundlagenforschung**. Insbesondere ermöglicht sie die simultane Messung der Orts- und Orientierungskordinaten aller Kristallite (*Orientierungsstereologie*) im Volumeninneren eines Werkstoffes. Sie ergänzt damit das Einsatzgebiet der *Elektronenbeugungsabbildung*, (EBSD-Technik), die diese Koordinaten in Oberflächenkristallen misst. (siehe z.B. Schwarzer, 2000).

Auf der anderen Seite ist die neue Technik auch hervorragend für die industrielle Praxis zur Untersuchung technischer Werkstücke, ja sogar ganzer Baugruppen, sowie zu deren schneller, zerstörungsfreier Inspektion geeignet.

Wir nehmen den hundertsten Geburtstag von Professor Günter Wassermann zum Anlass, auf

diese neue Weiterentwicklung seines Arbeitsgebietes der Texturforschung, speziell hier in Clausthal, hinzuweisen.

## Danksagung

Der Autor möchte der Deutschen Forschungsgemeinschaft, DFG, für die langjährige Förderung des Forschungsgebietes Texturen in Clausthal seit mehr als 50 Jahren danken.

*Anm. d. Red.: Ausführliche Literaturangaben sind auf Wunsch beim Verfasser erhältlich.*

*Prof. (em.) Dr. Hans Joachim Bunge  
Institut für Physik und Physikalische Technologien  
Leibnizstraße 4  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Tel.: 05323/72-2149  
Fax: 05323/72-3600*

# Strontiumtitanat

## Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten als Sauerstoffsensor

*Von Anissa Gunhold, Wolfgang Maus-Friedrichs, Karsten Gömann und Günter Borchardt*

Strontiumtitanat ( $\text{SrTiO}_3$ ) ist Gegenstand intensiver Forschungen aufgrund der zahlreichen Einsatzmöglichkeiten, wie zum Beispiel in Hochtemperatur-Sauerstoff-Sensoren, in ferroelektrischen RAM-Bausteinen, als Elektrode bei der Photoelektrolyse von Wasser oder auch als Substrat für Hochtemperatur-Supraleiter.

Die derzeit in Automobilen verwendeten potentiometrischen Lambda-Sonden zur Steuerung der Verbrennungsprozesse basieren auf Yttrium-stabilisiertem kubischem Zirkoniumdioxid ( $(\text{Zr,Y})\text{O}_2$ ), welches ein reiner Sauerstoffionenleiter ist, und sind deswegen selbst in dem optimalen Temperaturfenster ( $800^\circ\text{C}$  bis  $1000^\circ\text{C}$ ) zu langsam für moderne Motorsysteme. Ein weiteres Problem stellt die Langzeitdegradation dieses im Prinzip metastabilen Materials infolge struktureller Umwandlungen dar.  $\text{SrTiO}_3$  hingegen liegt oberhalb von  $-170^\circ\text{C}$  in der kubischen Perowskit-Kristallstruktur vor. Bis zu seinem Schmelzpunkt bei  $2000^\circ\text{C}$  weist es keine Phasenumwandlungen auf, die Spannungen im Material erzeugen würden. Daher kann die Sonde in direkter Nähe der Zylinder platziert werden, wodurch die schnelle Regelung einzelner Zylinder ermöglicht wird.  $\text{SrTiO}_3$  ist deswegen prinzipiell auch für den Langzeiteinsatz im genannten Temperaturbereich geeignet. Sein eigentlicher

Vorteil gegenüber stabilisiertem  $\text{ZrO}_2$  liegt jedoch darin, dass es durch geeignete Dotierung ein so genannter Mischleiter wird, dessen elektronische Leitfähigkeitskomponente mit dem Sauerstoffpartialdruck des Abgases korreliert ist. Bei geeigneten Bauformen (dünne Schichten) werden Ansprechzeiten dieses resistiven Sensors im Millisekundenbereich möglich. Da ferner die Notwendigkeit entfällt, einen Referenzsauerstoffpartialdruck wie bei der potentiometrischen Lambda-Sonde aufrechtzuerhalten, ist auch die gute Miniaturisierbarkeit ein potentieller Vorteil der auf  $\text{SrTiO}_3$  basierenden Sensoren. Durch Dotierung des Materials mit Elementen, die als Elektronendonatoren (z. B. Lanthan, Niob) oder -akzeptoren (z. B. Eisen, Aluminium) fungieren, kann der messbare Sauerstoffkonzentrationsbereich verschoben und hierdurch für die jeweilige Anwendung maßgeschneidert werden.

Der Praxistest zeigte jedoch nach anfangs erfolgreichem Einsatz eine deutliche Abnahme der Empfindlichkeit mit zunehmender Betriebsdauer. Nach eingehender Untersuchung fand man auf der Oberfläche des Sensors isolierende Bereiche aus Strontiumoxid ( $\text{SrO}$ ). Um den Bildungsmechanismus dieser Inseln aufzuklären, wurden von uns Modellexperimente durchgeführt, bei denen  $\text{SrTiO}_3$ -Proben bei hohen Tem-

peraturen gegläht wurden. Hierbei wurden verschiedene Parameter variiert, die die Bildung voraussichtlich beeinflussen:

- die Dauer und die Temperatur des Experiments,
- die Zusammensetzung der umgebenden Gasatmosphäre, speziell der Sauerstoffkonzentration,
- die Konzentration des Dotierelements und
- die Orientierung des  $\text{SrTiO}_3$ -Kristallgitters relativ zur Probenoberfläche. Diese bestimmt die Oberflächenterminierung, also die Verteilung der chemischen Elemente in der obersten Atomlage an der Oberfläche.

In den hier vorgestellten Experimenten wurden  $\text{SrTiO}_3(100)$ -Einkristalle untersucht, also einzelne Kristalle, die so geschnitten wurden, dass die Probenoberfläche parallel zur (100)-Ebene des Kristallgitters orientiert ist. Undotierte Proben und solche, die mit 0,1 bzw. 5 Atom-Prozent (At.-%) Lanthan dotiert waren, wurden in Luft bzw. im Ultrahochvakuum bei Temperaturen von mindestens  $1000^\circ\text{C}$  gegläht und anschließend mit verschiedenen mikroskopischen und spektroskopischen Methoden analysiert (es werden durchgehend die international gebräuchlichen englischen Abkürzungen verwendet):



Kürzel	Englische (deutsche) Bezeichnung	Informationsgehalt
AES	Auger Electron Spectroscopy (Augerelektronenspektroskopie)	Änderung der chemischen Zusammensetzung mit der Tiefe
AFM / STM	Atomic Force / Scanning Tunneling Microscopy (Rasterkraft- bzw. Rastertunnelmikroskopie)	Topographie der Probenoberfläche
EPMA	Electron Probe Microanalysis (Elektronenstrahl-Mikrosonde)	Lokale chemische Zusammensetzung der Probe
MIEEM	Metastable Impact Electron Emission Microscopy	Elektronische Struktur und Topographie der obersten Atomlage
MIES	Metastable Impact Electron Spectroscopy	Elektronische Struktur der obersten Atomlage
PEEM	Photoelectron Emission Microscopy	Topographie der Oberfläche bis in eine Tiefe von einigen Nanometern
UPS	Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy	Elektronische Struktur der Oberfläche bis in eine Tiefe von einigen Nanometern
SEM	Scanning Electron Microscopy (Rasterelektronenmikroskopie)	Topographie der Probenoberfläche (qualitativ)
SIMS	Secondary Ion Mass Spectrometry (Sekundärionenmassenspektrometrie)	Änderung der isotopischen Zusammensetzung mit der Tiefe

### Untersuchungen unter oxidierenden Bedingungen

Bei Glühung in Luft zeigt sich für alle Lanthan-Konzentrationen schon nach einer Stunde Glühung die Ausbildung von Inseln auf der Oberfläche. In **Bild 1** sind ein Auflichtmikroskopie- und ein SEM-Bild einer mit 5 At.-% Lanthan dotierten Probe zu sehen. Die Inseln wachsen epitaktisch im 45°-Winkel zur [001]-Richtung

des unterliegenden  $\text{SrTiO}_3$ -Kristallgitters auf; denn in dieser Orientierung ist die Fehlanpassung zwischen den Kristallgittern der SrO-Inseln und des  $\text{SrTiO}_3$ -Substrats am geringsten. Verunreinigungen der Oberfläche, Oberflächendefekte sowie -beschädigungen dienen dabei als Kristallisationskeime. Mit zunehmender Glühdauer wachsen die Inseln weiter und agglomerieren zu großen Inseln, die oft die Form eines gleichseitigen Dreiecks haben, wie in Bild 1 zu sehen.

Nach 25 Stunden ist das Wachstum weitgehend abgeschlossen. Lediglich ein fortschreitendes Zusammenwachsen der Inseln ist noch feststellbar. Die chemische Analyse der Inseln mittels EPMA und AES zeigt, dass sie aus Strontium, Sauerstoff und etwas Lanthan bestehen, aber kein Titan enthalten (**Bild 2**).

Die Oberflächenbereiche zwischen den Inseln erscheinen in Bild 1 zwar glatt, mit dem deutlich höher auflösenden AFM bzw. STM, ist ►

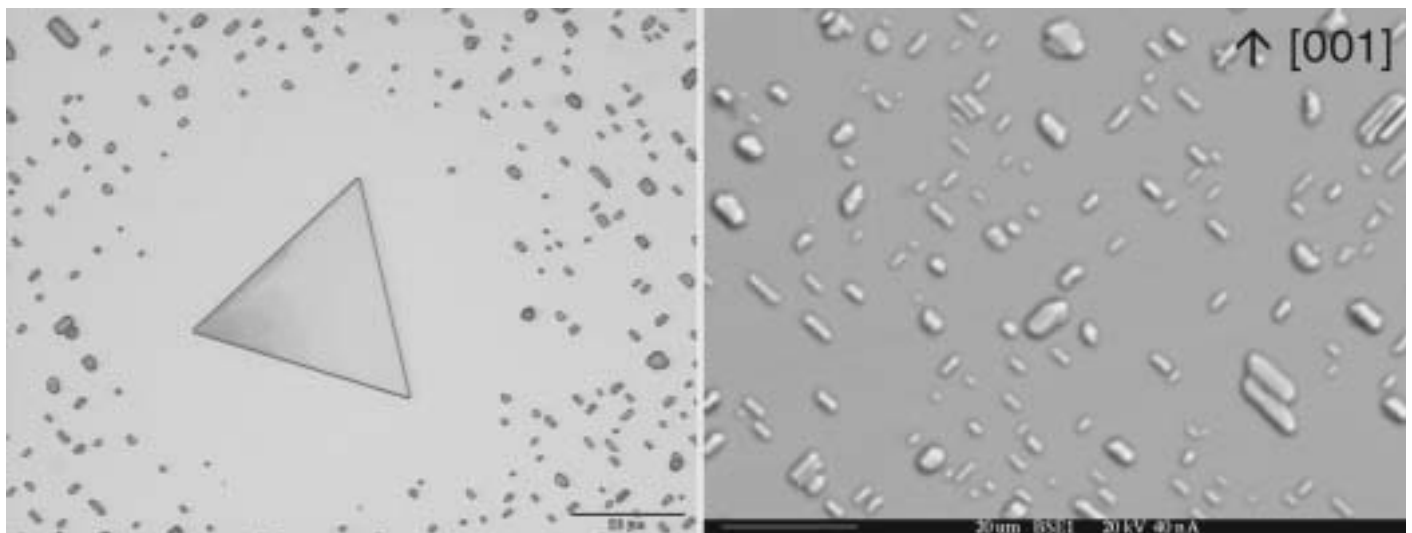


Bild 1: Auflichtmikroskop- (links) und SEM-Bild (rechts) von 5 At.-% Lanthan-dotiertem  $\text{SrTiO}_3(100)$  nach 40 Tagen Glühung bei 1300°C in synthetischer Luft



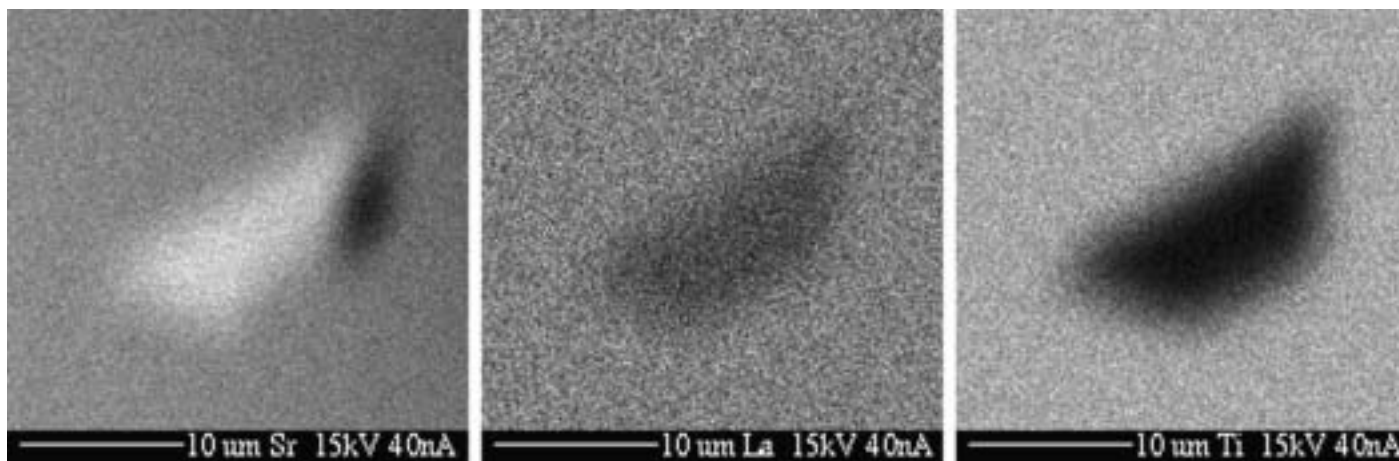


Bild 2: EPMA-Elementverteilungsbilder von Strontium, Lanthan und Titan der 5 At.-% La-dotierten  $\text{SrTiO}_3(100)$ -Probe nach 40 Tagen Glühung bei 1300°C in synthetischer Luft

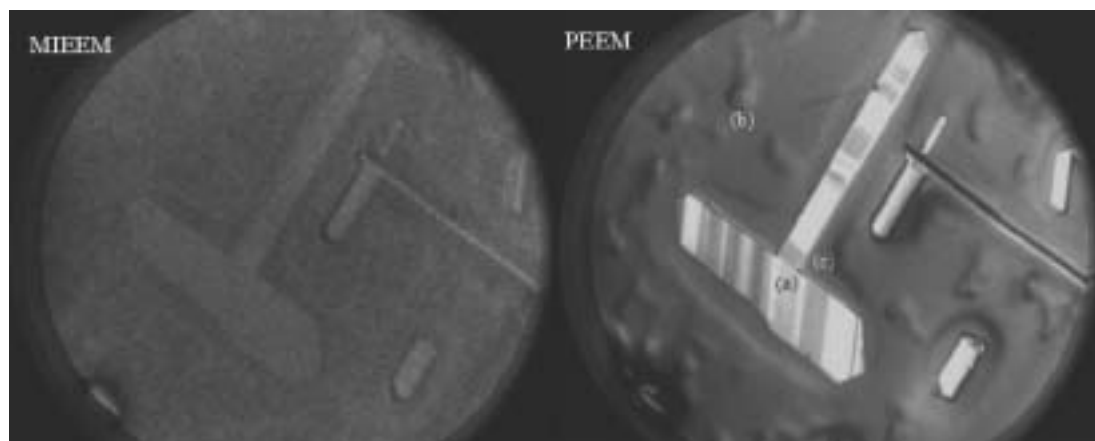


Bild 3: MIEEM- und PEEM-Bild von 5 At.-% Lanthan-dotiertem  $\text{SrTiO}_3(100)$  nach 120 Stunden Glühung bei 1300°C in Luft. Die Bildgrößen betragen 100 x 100  $\mu\text{m}^2$ . Die Bereiche (a) - (c) werden im Text erläutert.

jedoch eine schuppige, terrassenartige Aufrauung der Oberfläche zu erkennen. Linienprofile über die Terrassenkanten ergeben Stufenhöhen, die mit den Gitterkonstanten von „Ruddlesden-Popper-Phasen“ ( $\text{SrO}_x\text{SrTiO}_3$ ) übereinstimmen, die – verglichen mit  $\text{SrTiO}_3$  – zusätzlich eingeschobene SrO-Lagen besitzen. Diese Deutung wird durch AES-Tiefenprofile bestätigt, die eine relative Strontium-Anreicherung an der Oberfläche zwischen den Inseln zeigen. Gegenüber dem ursprünglichen  $\text{SrTiO}_3$ -Kristall hat hier also eine Anreicherung von Strontium im Bereich der Oberfläche stattgefunden. SIMS-Tiefenprofile zeigen zusätzlich eine Lanthan-Anreicherung in Richtung der Oberfläche, die mehrere hundert nm weit in den Kristall hineinreicht.

Wie in den MIEEM- und PEEM-Bildern in Bild 3 zu erkennen ist, haben sich außerdem um die SrO-Inseln (a) 2 bis 4  $\mu\text{m}$  breite Säume (c) mit einer abweichenden elektronischen Struktur gebildet. Diese entspricht nicht mehr der von  $\text{SrTiO}_3$ , sondern ähnelt der von  $\text{TiO}_2$  oder  $\text{Ti}_2\text{O}_3$ , wie spektroskopische Untersuchungen mittels MIES und UPS zeigen. In den inselnahen Bereichen wird also das Strontium für das

Inselwachstum verbraucht; das Titanoxid bleibt zurück, und es kommt zu einer teilweisen Zersetzung des Kristalls. Bestimmte Bereiche zwischen den Inseln (b) sind nur mit PEEM erkennbar, welches eine höhere Informationstiefe besitzt. Es handelt sich daher wohl um Strukturen unterhalb der Oberfläche.

Bei geringerer Lanthan-Dotierung sind prinzipiell die gleichen Umbildungen zu beobachten, nur sind das Ausmaß der Bedeckung und die Größe der Inseln erheblich geringer. Die SrO-Zweitphasen agglomerieren stärker, und zwar bevorzugt entlang von Stufenkanten. Bild 4 zeigt diesen Prozess anhand von drei AFM-Bildern, die nach unterschiedlichen Glühdauern aufgenommen wurden und jeweils vergleichbare Bildausschnitte zeigen. Nach 40 Tagen Glühung sind praktisch nur noch vereinzelte große SrO-Inseln zu beobachten. In den Zwischenräumen bildet sich wieder eine stufige Oberfläche aus. Sie bleiben auch mit fortschreitender Glühdauer weitgehend unverändert. Auch ist hier eine Lanthan-Anreicherung im Volumen nicht zu beobachten.

Zusammengefasst beobachten wir also unter oxidierenden Bedingungen, dass sich Strontium-

oxid-Inseln auf der Oberfläche bilden. An diesen Wachstumszentren wird der  $\text{SrTiO}_3$ -Kristall teilweise zersetzt. Weiterhin wird Strontium aus dem Volumen an die Oberfläche transportiert und bildet dort Strontium-angereicherte Ruddlesden-Popper-Phasen. Das Ausmaß der Bedeckung und Agglomeration der Inseln ist von der Konzentration des Dotierelements abhängig.

### Untersuchungen unter reduzierenden Bedingungen

Die niedrig dotierten wie auch die undotierten Proben zeigen im AFM bereits nach kurzer Glühung im Vakuum ( $\leq 10^{-6}$  mbar) auf der gesamten Oberfläche typische Stufen von rund 3 Å. Diese Stufen können nicht der  $\text{SrTiO}_3$ -Gitterkonstante oder den unter oxidierenden Bedingungen beobachteten Ruddlesden-Popper-Phasen zugeordnet werden. Da die Gitterkonstante von  $\text{TiO}_2$  2,96 Å beträgt, kann man annehmen, dass die Stufenhöhe die Folge einer  $\text{TiO}_2$ -Anreicherung an der Oberfläche ist. Es finden sich auch vereinzelt Inseln mit typischen Durchmessern von 10 nm bis 20 nm auf der Oberfläche. Fortgesetzt ►

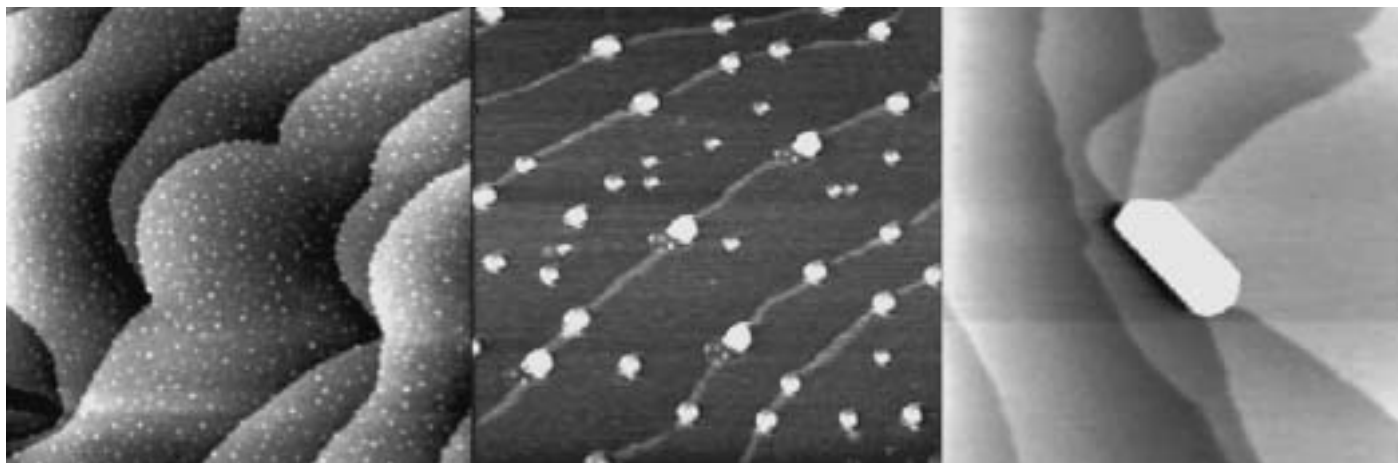


Bild 4: AFM-Bilder von 0,1 At.-% Lanthan-dotiertem  $\text{SrTiO}_3(100)$  nach (von links nach rechts) 2 Stunden, 5 Stunden und 40 Tagen Glühung bei  $1300^\circ\text{C}$  in synthetischer Luft. Die Bildgrößen der äußeren Bilder betragen  $2000 \times 2000 \text{ nm}^2$ , des mittleren Bildes  $1000 \times 1000 \text{ nm}^2$ . Die SrO-Inseln erscheinen weiß.

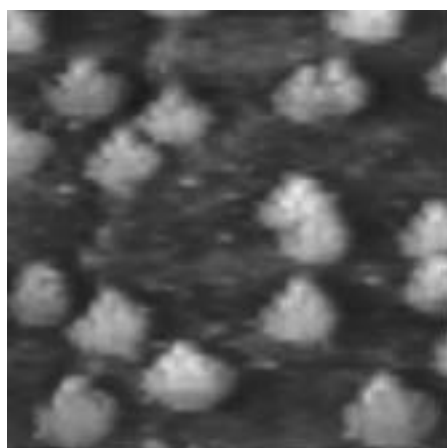


Bild 5: STM-Bild von 5 At.-% Lanthan-dotiertem  $\text{SrTiO}_3(100)$  nach 150 Stunden Glühung bei  $1000^\circ\text{C}$  im Ultrahochvakuum. Die Bildgröße beträgt  $100 \times 100 \text{ nm}^2$ .

Glühen führt zu einer Zunahme von Anzahl und Größe. Die hoch dotierten Kristalle zeigen im Gegensatz zu den niedrig dotierten selbst nach langen Glühzeiten keine großen Inseln auf der Oberfläche (wie in **Bild 5** gezeigt).

Führt man an einer hochdotierten Probe eine AES-Tiefenprofilanalyse (**Bild 6**) durch, so findet man eine Anreicherung an Titan im oberflächennahen Bereich (6 bis 10 nm Tiefe). Direkt an der Oberfläche ist der Anteil an Titan reduziert. Man findet auch eine deutliche Anreicherung an Lanthan zur Oberfläche hin. Strontium ist dagegen bis in eine Tiefe von 30 nm deutlich verarmt im Vergleich zum ungeheizten Kristall. Eine Einzelanalyse der Inseln ist für diese Proben nicht möglich, da der Inseldurchmesser wesentlich kleiner ist als die laterale Auflösung des Elektronenstrahls des AES. Somit erhält man eine Mischinformation über die Zusammensetzung der Inseln und der die Inseln umgebenden Bereiche. Da die Inseln auf der Oberfläche eine typische Höhe von rund 8 nm aufwei-

sen, entsprechen die ersten 5-10 nm des Tiefenprofils zu großen Teilen der Analyse der Inseln. Daraus kann man schließen, dass sich die Lanthan-Anreicherung vor allem in den Inseln konzentriert. Für die niedrig dotierten Proben dagegen ist aufgrund der ausreichenden Größe der Inseln eine Einzelanalyse möglich. Hier zeigt die AES, dass die Inseln aus  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  bestehen. Die Analyse der Bereiche neben den Inseln weist auf eine schmale Titan-Verarmungszone hin. Die restliche Oberfläche besitzt weitgehend die Stöchiometrie von  $\text{SrTiO}_3$  mit einer leichten Titananreicherung.

Weitere spektroskopische Untersuchungen ergaben, dass die Inseln einen metallähnlichen Charakter aufweisen, wohingegen die restliche Oberfläche sich nicht wesentlich vom ungeheizten Kristall unterscheidet. Bei den hochdotierten Proben ist dieser metallähnliche Charakter weniger stark als bei den niedrig- oder undotierten Proben. Die AES-Messungen an den niedrigdotierten Proben zeigten, dass die Inseln aus  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  bestehen. Legt man für die hochdotierten Proben einen ähnlichen Prozess zugrunde und integriert die beobachtete Lanthan-Anreicherung, dann bestehen die Inseln der hochdotierten Proben aus einem La-Ti-Komplex. Es gibt vier stabile Stöchiometrien für ein solches System:



Dabei treten nur im  $\text{LaTiO}_3$   $\text{Ti}^{3+}$ -Ionen auf, die einen metallähnlichen Charakter haben. Bei allen anderen Verbindungen liegt das Titan als  $\text{Ti}^{4+}$  vor, was vollständig oxidiert ist. Wir vermuten deshalb, dass die Inseln aus  $\text{LaTiO}_3$  bestehen. Dieses ist ebenfalls ein Perowskit mit der gleichen Kristallstruktur wie  $\text{SrTiO}_3$ . Der Unterschied in der Bildung der Inseln zwischen hoch und schwach dotierten Proben ist also Folge der La-Dotierung und Segregation von La an die Oberfläche. Auch der geringere metallähnliche Anteil in den Spektren lässt sich damit erklären, dass ja pro  $\text{LaTiO}_3$ -Molekül nur ein reduziertes

Titan-Ion vorliegt. Hingegen liegen beim  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  zwei reduzierte Titan-Ionen pro Molekül vor, womit der metallähnliche Charakter stärker ist.

### Kationen-Diffusionsexperimente

Um für die beobachteten Effekte ein konsistentes kinetisches Modell entwickeln zu können, ist es notwendig, die Beweglichkeiten der beteiligten Teilchensorten zu kennen. Während für das Anion im System, den Sauerstoff, bereits ausführliche Untersuchungen vorliegen, ist über die Diffusion der Kationen Strontium, Titan und Lanthan praktisch nichts bekannt. Daher werden im Rahmen des Projektes auch umfangreiche Experimente zur Diffusion der Kationen durchgeführt.

Um die Proben mit der Versuchsatmosphäre (hier synthetische Luft) zu equilibrieren, müssen sie zunächst bei der gewünschten Temperatur und Gasatmosphäre für längere Zeit geglüht werden. Anschließend werden Tracer auf die Oberfläche oder in den oberflächennahen Bereich der Proben eingebracht. Hierbei handelt es sich um stabile Isotope der genannten Kationen, deren natürliche Häufigkeit gering ist und die deshalb in den Proben nur in einer geringen Konzentration enthalten sind. Während für Strontium und Titan mit den Isotopen  $^{87}\text{Sr}$  bzw.  $^{50}\text{Ti}$  (7 bzw. 5,2 % natürliche Häufigkeit) geeignete Isotope zur Verfügung stehen, kommt Lanthan natürlich fast ausschließlich als  $^{139}\text{La}$  vor. Daher wurden zusätzlich Experimente mit dem Neodym-Isotop  $^{142}\text{Nd}$  durchgeführt. Neodym ist in wichtigen Eigenschaften wie Ionenradius, Oxidationsstufen und Atommasse eng verwandt mit dem Lanthan und sollte daher vergleichbare Diffusionsgeschwindigkeiten besitzen.

Wir haben für die Tracerdeposition das Verfahren der Ionenimplantation gewählt, bei dem die Tracer als Ionen mit hoher Energie in die Probe hineingeschossen werden. Im vorliegenden Fall betragen diese Energien zwischen 40 und 120 keV. Dieses Verfahren hat gegenüber ▶

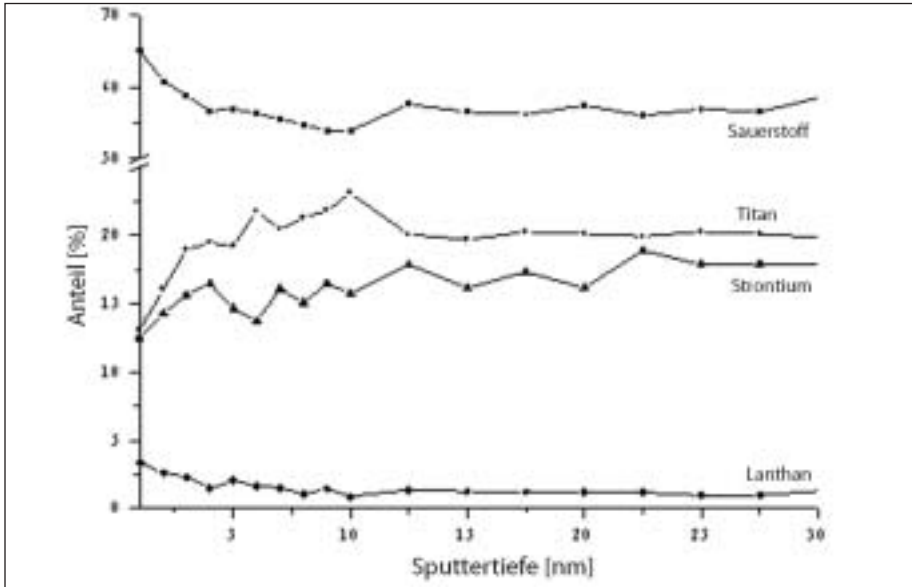


Bild 6: AES-Tiefenprofil der 5 At.-% Lanthan-dotiertem  $\text{SrTiO}_3(100)$ -Probe nach 150 Stunden Glühung bei  $1000^\circ\text{C}$  im Ultrahochvakuum

einer Tracerschicht auf der Oberfläche den Vorteil, dass die Tracerisotope direkt in das Kristallgitter der Probe eingebracht werden und nicht noch das Interface an der Probenoberfläche überwinden müssen. Nachteilig ist jedoch die Erzeugung von Schäden im Kristallgitter der Probe durch den Ionenbeschuss. Dies kann zur Folge haben, dass sich die Tracer-Diffusionsgeschwindigkeiten im implantierten Bereich und dem Kristallvolumen deutlich unterscheiden. Die Strahlenschäden können meistens durch eine thermische Behandlung weitgehend ausgeheilt werden, die optimale Temperatur und Dauer für diese Prozedur können aber je nach Material sehr verschieden sein.

Nach Aufbringung des Tracers werden die eigentlichen Tracerdiffusionsexperimente bei den gleichen Bedingungen wie bei der Gleichgewichtseinstellung durchgeführt. Die Tiefenprofile der Tracer vor und nach dem Diffusionsexperiment werden mittels SIMS vermessen. Beispielfhaft sind in **Bild 7** SIMS-Tiefenprofile von Lanthan und Neodym dargestellt. Nach der Implantation besitzt der Tracer eine Gaußförmige Tiefenverteilung. Durch die Diffusionsglühung beginnen die Tracerionen zu diffundieren. Dies hat eine Verbreiterung des Gauß-Profiles zur Folge, aus der sich der Diffusionskoeffizient ermitteln lässt, der ein Maß für die Beweglichkeit des Tracers bei der gegebenen Temperatur ist. Die Nd-Profile zeigen eine gleichmäßige Tracerdiffusion sowohl zur Oberfläche wie auch in das Kristallvolumen hinein. Die charakteristische Form ergibt sich daraus, dass die Tracerionen die Probe an der Oberfläche nicht verlassen, sondern reflektiert werden und in den Kristall zurückwandern. Die Lanthan-Profile ergeben hingegen, dass die Tracerdiffusion zwischen dem Maximum der Verteilung und der Oberfläche gehemmt ist. Dadurch, dass gegenüber dem

Neodym die fünffache Menge an Ionen implantiert wurde, ist das Ausmaß der Strahlenschäden deutlich höher und die Ausheilung durch thermische Behandlung offenbar nicht optimal. In diesem Fall kann daher nur die rechte Flanke der Profile zur Ermittlung des Diffusionskoeffizienten herangezogen werden. Die Auswertung der bisher durchgeführten Experimente ergibt folgende Ergebnisse:

- Die Diffusionskoeffizienten der Kationen steigen mit der Konzentration der Lanthan-Dotierung und verhalten sich untereinander wie folgt:  $D^{\text{La}} > D^{\text{Nd}} > D^{\text{Sr}} > D^{\text{Ti}}$ . Dies steht im Einklang mit dem gültigen Modell, das die Bewegung der Kationen über Strontium-Leerstellen im Kristallgitter prognostiziert. Deren Anzahl steigt unter oxidierenden Bedingungen mit der Dotierungskonzentration an. Durch diesen direk-

ten Zusammenhang diffundiert das Dotierungselement Lanthan vergleichsweise schnell. Die Titan-Ionen sind hingegen besonders langsam, da sie weniger gut auf die Sr-Leerstellen passen und die Anzahl an Titan-Leerstellen gering ist. Ein wenig überraschend ist das Ergebnis, dass sich die Diffusionskoeffizienten von Lanthan und Neodym trotz der engen Verwandtschaft der beiden Elemente um eine Größenordnung unterscheiden. Das defektchemische Modell wird im nächsten Kapitel näher erläutert.

- Die Diffusionsgeschwindigkeit nimmt mit zunehmender Dauer des Experiments und Tiefe in der Probe ab. Dies deutet auf eine Raumladungszone an der Oberfläche des Kristalls hin und bestätigt Ergebnisse aus Untersuchungen der elektrischen Leitfähigkeit und Sauerstofftracerdiffusion, die im Rahmen eines bereits abgeschlossenen Projekts in Kooperation mit der RWTH Aachen erfolgt sind.

## Defektchemisches Modell

Die bei unseren Experimenten beobachteten Umbildungen lassen sich mittels defektchemischer Reaktionen erklären. Dieses Konzept beinhaltet, dass einzelne Teilchen ihre Position im Kristallgitter verändern können, ohne dass dieses seine Struktur verändert oder eine chemische Umwandlung stattfindet. Der  $\text{SrTiO}_3$ -Kristall ist aus Ionen aufgebaut, die für jede Ionensorte spezifische Gitterplätze einnehmen. Die Funktionsweise von  $\text{SrTiO}_3$  als Sauerstoff-Sensor basiert auf folgendem defektchemischen Gleichgewicht (es wird die gebräuchliche defektchemische Notation von Kröger und Vink verwendet, die in **Bild 8** erläutert ist):

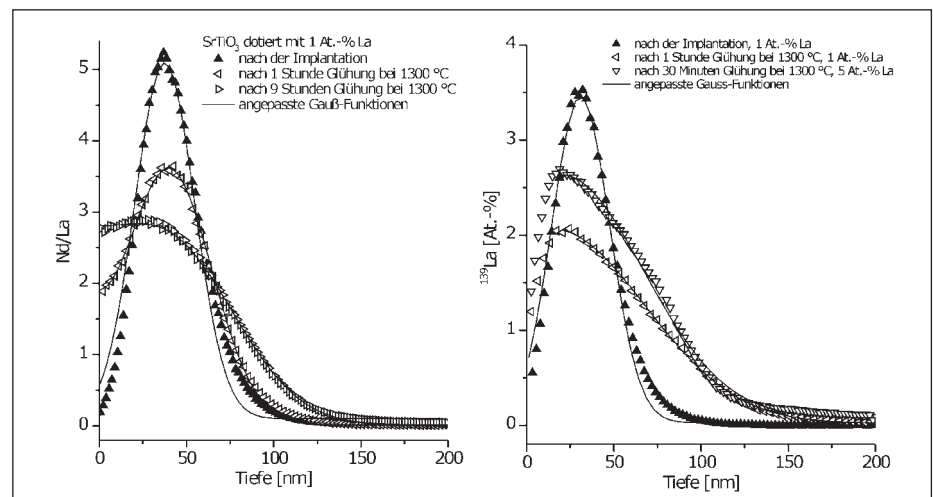
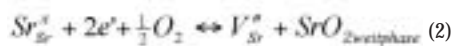


Bild 7: SIMS-Tiefenprofile von Neodym (links) und Lanthan (rechts). Die Lanthankonzentration wurde auf den natürlichen Untergrund der Proben normiert, der anschließend subtrahiert wurde.



Sinkt der Sauerstoffgehalt oder genauer der Sauerstoffpartialdruck in der den Sensor umgebenden Gasatmosphäre, so verlagert sich das Gleichgewicht der Reaktion auf die linke Seite. Sauerstoffionen auf Gitterplätzen ( $O_O^\times$ ) werden als gasförmiger Sauerstoff freigesetzt. Zurück bleiben leere Sauerstoff-Gitterplätze, die als Leerstelle oder Vakanz (Symbol V) bezeichnet werden. Die Leerstellen besitzen eine zum Kristallgitter relative Ladung und sind wie die Ionen, Elektronen und Elektronenlöcher als bewegliche Teilchen anzusehen. Außerdem werden Elektronen produziert, die die makroskopisch messbare elektrische Leitfähigkeit des Kristalls erhöhen. Steigt hingegen der äußere Sauerstoffpartialdruck, so verlagert sich das Gleichgewicht in Gleichung (1) auf die rechte Seite. Es werden Elektronen verbraucht, und die elektrische Leitfähigkeit nimmt ab. So kann jedem Sauerstoffpartialdruck eine bestimmte Leitfähigkeit zugeordnet werden. Bei donatordotiertem  $SrTiO_3$  erhält man eine eindeutige Kennlinie in dem Sauerstoffpartialdruckbereich, der für die Autoabgasmessung interessant ist. In unseren Experimenten haben wir Sauerstoffpartialdrücke gewählt, die eher am oberen bzw. unteren Ende dieses Bereichs liegen. Die Ergebnisse unserer Untersuchungen lassen sich wie folgt erklären:

Unter **oxidierenden** Bedingungen diffundiert Sauerstoff schnell in den Kristall hinein, und Sauerstoff-Leerstellen werden aufgefüllt. Die hierfür benötigten Elektronen werden vom Donator (hier Lanthan) geliefert und stehen nun nicht mehr zur Kompensation der positiv geladenen Donatoren zur Verfügung. Im Ausgleich werden an der Oberfläche Strontiumleerstellen gebildet, und es kommt zu einem Wechsel im Kompensationsmechanismus. Eine Front von Strontiumleerstellen wandert in den Kristall hinein, das überschüssige Strontium segregiert zur Oberfläche und bildet dort die beobachteten Strontiumreichen Ruddlesden-Popper-Phasen und Strontiumoxid-Inseln:



Das steigende Ausmaß an Zweitphasenbildung von den niedrig zu den hoch dotierten Proben erklärt sich daher aus der steigenden Anzahl der Donatoren ( $D'$ ), die kompensiert werden müssen:

$$2[V_{Sr}^{\times}] = [D'] \quad (3)$$

Dieser Zusammenhang ist auch die Triebkraft für die bei hoher Dotierung beobachtete Anreicherung des Lanthan in Richtung der Oberfläche: Alternativ zur Diffusion der an der Oberfläche gebildeten Strontium-Leerstellen in den Kristall hinein kann auch die gegenläufige Diffusion des Donators aus dem Volumen heraus zur Oberfläche stattfinden, um Gleichung (3) zu erfüllen. Da sich beide Prozesse überlagern, bilden sich Gradienten in der Strontiumleerstellen-

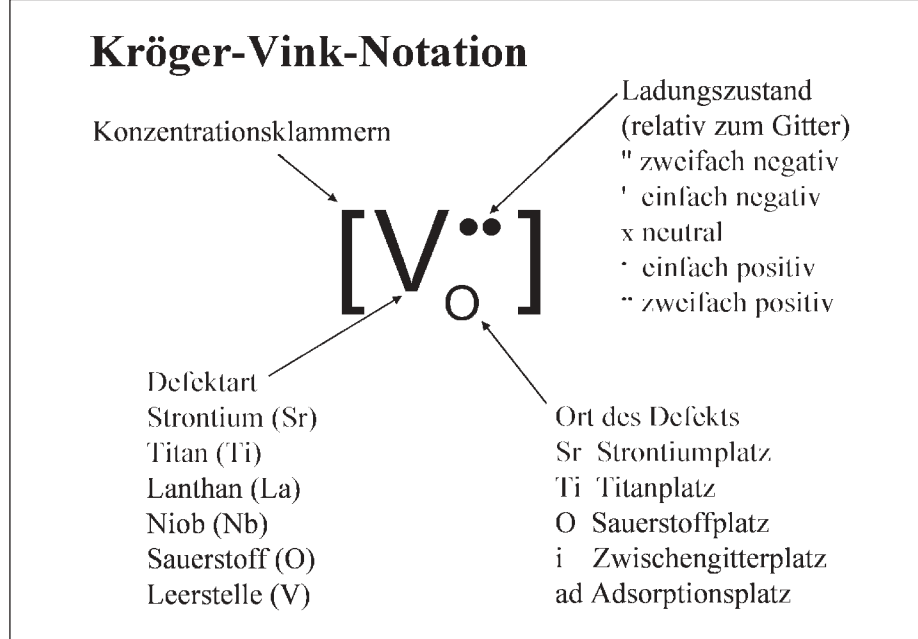


Bild 8: Defektnotation nach Kröger & Vink

und Donatorkonzentration aus.

Unter reduzierenden Bedingungen beobachtet man im Gegensatz dazu für alle Dotierungen die Bildung Titanoxid-haltiger Inseln bzw. Oberflächenstrukturen. Diese Beobachtung lässt sich mittels des gleichen defektchemischen Modells erklären: Gleichung (1) läuft nun von rechts nach links ab. Sauerstoff wird freigesetzt, und an der Oberfläche werden zahlreiche Sauerstoffleerstellen und freie Elektronen produziert, die in den Kristall hineinwandern. Der Elektronenüberschuss kann nicht durch das Auffüllen von Strontium-Leerstellen kompensiert werden, da deren Konzentration im Ausgangskristall gering ist. In diesem Fall sind mögliche Reaktionen, bei denen freie Elektronen verbraucht werden, die vollständige Reduktion von Strontium oder Titan zu den Elementen. Möglich ist auch die teilweise Reduktion von Titan und damit die Bildung von  $Ti_2O_3$ ,  $TiO$  oder (für den hochdotierten Kristall)  $LaTiO_3$ . Aus thermodynamischen Berechnungen ergibt sich, dass die teilweise Reduktion von  $Ti^{4+}$  zu  $Ti^{3+}$ -Ionen mit sukzessiver Bildung der beobachteten  $Ti_2O_3$ - bzw.  $LaTiO_3$ -Phasen an der Oberfläche energetisch am günstigsten ist. Die teilweise Reduktion von  $Sr^{2+}$ - und  $La^{3+}$ -Ionen, die eine stabilere Elektronenkonfiguration besitzen, und besonders die Reduktion eines der Kationen bis zum Metall mit nachfolgender Sublimation erfordern den Einsatz immer höherer Energiebeträge und sind daher zunehmend unwahrscheinlicher.

Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass unter reduzierenden Bedingungen Sauerstoffleerstellen an der Oberfläche gebildet werden und in den Kristall diffundieren, was zu einer teilweisen Zersetzung des  $SrTiO_3$  führt.

Wir beobachten dies in der Bildung von Titanoxid-reichen Phasen auf der Oberfläche.

### Zusammenfassung und Ausblick

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass sich bei Glühung von  $SrTiO_3$  Zweitphasen auf der Oberfläche ausbilden. Unter oxidierenden Bedingungen findet man Strontiumoxid-Inseln, unter reduzierenden Bedingungen  $Ti_2O_3$ , das bei den hochdotierten Proben mit Lanthan angereichert ist. Die Bildung der Inseln und die beobachteten Effekte zwischen den Inseln lassen sich mit Hilfe eines defektchemischen Modells erklären. Eine interessante Fragestellung ist nun der Einfluss der unterschiedlichen Oberflächenterminierungen sowohl auf die Prozesse, die im Volumen ablaufen, als auch auf die Rekonstruktion der Oberflächen. Obwohl jetzt ersichtlich wird, dass durch die Inselbildung  $SrTiO_3$ -Einkristalle als Werkstoff für den Bau von Hochtemperatur-Sauerstoffsensoren weniger geeignet sind, sind die Ergebnisse doch eine wertvolle Grundlage für die Erprobung von Sensoren auf der Basis von nanokristallinem  $SrTiO_3$ . Durch die Wahl geeigneter Herstellungsparameter lassen sich die Eigenschaften der Nanokristalle möglicherweise so einstellen, dass die Bildung von Zweitphasen weitgehend unterdrückt wird oder zumindest reversibel abläuft.

## Danksagung

Diese Arbeiten wurden von V. Kempter, L. Beuermann, M. Frerichs, P. Cyris, G. Lilienkamp, Han Wei, B. Lesage, O. Kaïtasov, H. Baumann und F. Jomard unterstützt und durch die DFG gefördert.

*Dipl.-Chem. Anissa Gunhold*

*Dr. rer. nat. Wolfgang Maus-Friedrichs*

*Institut für Physik und Physikalische Technologien*

*AG Atom- und Molekülphysik an Oberflächen*

*Leibnizstraße 4*

*38678 Clausthal-Zellerfeld*

*Tel.: 05323/72-2756*

*Fax: 05323/72-3600*

*E-Mail: anissa.gunhold@tu-clausthal.de*

*Dr. rer. nat. Karsten Gömann*

*Prof. Dr.-Ing. Günter Borchardt*

*Institut für Metallurgie*

*AG Thermochemie und Mikrokinetik*

*Robert-Koch-Straße 42*

*38678 Clausthal-Zellerfeld*

*Tel.: 05323/72-3688*

*Fax: 05323/72-3184*

*E-Mail: karsten.goemann@tu-clausthal.de*





# Die Rapid Tooling-Verfahrenskette

Von Detlef Trenke

Die Rapid Tooling- bzw. Rapid Prototyping-Verfahrenskette (siehe **Bild 1**) beginnt mit der 3D-CAD-Konstruktion der zu fertigenden Bauteile.

Das erzeugte Computermodell wird anschließend mit einer speziellen Rapid Tooling Software für den Lasersinterprozess vorbereitet (Erzeugen von Stützstrukturen, Platzieren der Bauteile im Bauraum, Generieren der Schichtinformationen, usw.). Die aufbereiteten Modelldaten werden dann zur Rapid Tooling-Anlage

übermittelt, in der schichtweise das stoffliche Modell mit Hilfe eines Lasers erzeugt wird. Abschließend können die Werkstoffeigenschaften der gesinterten Werkstücke durch verschiedene Nachbearbeitungsverfahren (Infiltration mit Epoxidharz, Sandstrahlen, Polieren, usw.) noch gezielt verbessert werden.

## Die CAD-Konstruktion

Wie einleitend erwähnt, beginnt die Rapid Tooling-Verfahrenskette mit der CAD-Konstruktion des herzustellenden Werkstücks, wie z. B. eines Prototyps, eines Werkzeuges oder eines Funktionsteils. Bei der Wahl des Konstruktionsprogramms ist darauf zu achten, dass ein 3D-Volumenmodell erzeugt wird. Beim Erzeugen eines 3D-Flächenmodells würden beim anschlie-

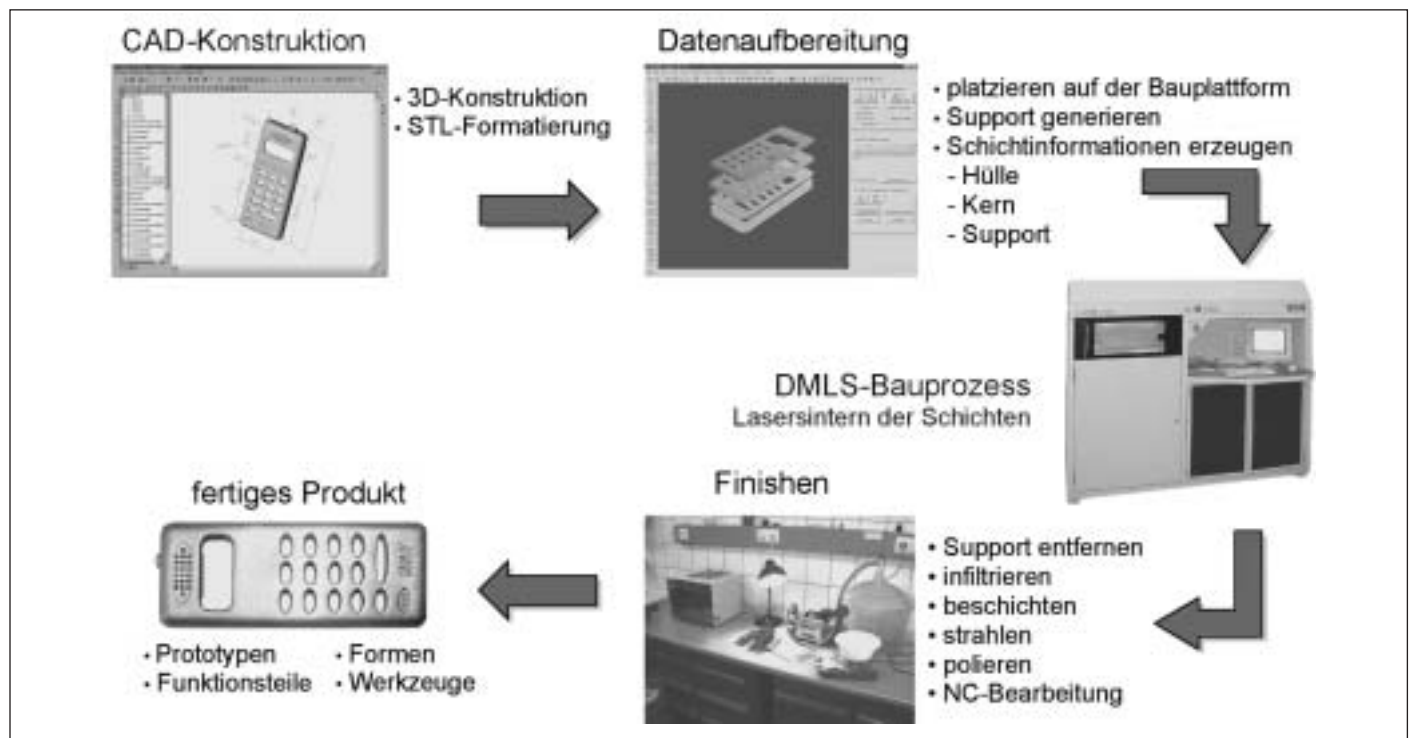


Bild 1: Die Rapid Tooling-Verfahrenskette

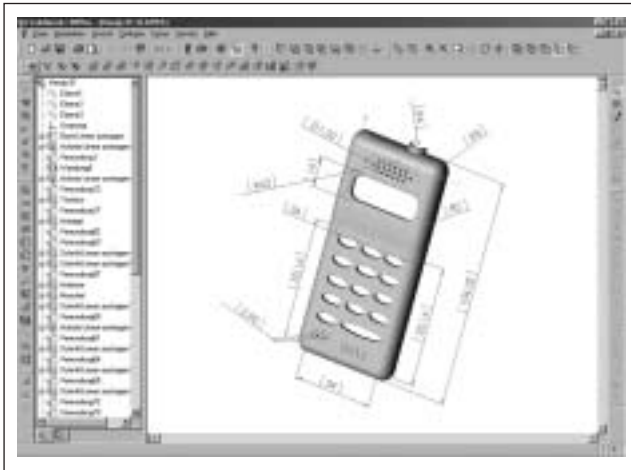


Bild 2: Im CAD-Programm konstruierte Handyschale

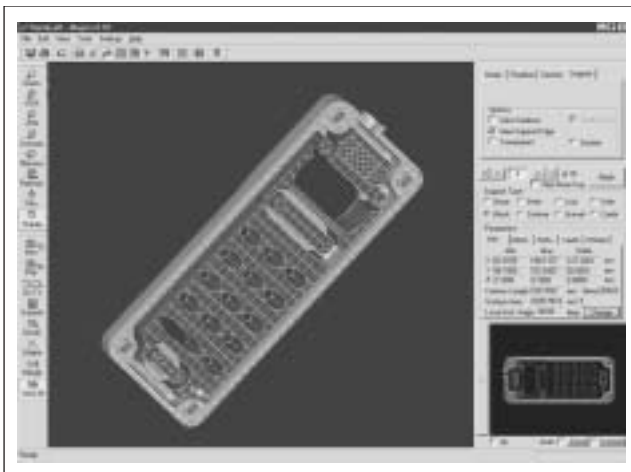


Bild 3: Handyschale mit Stützstruktur

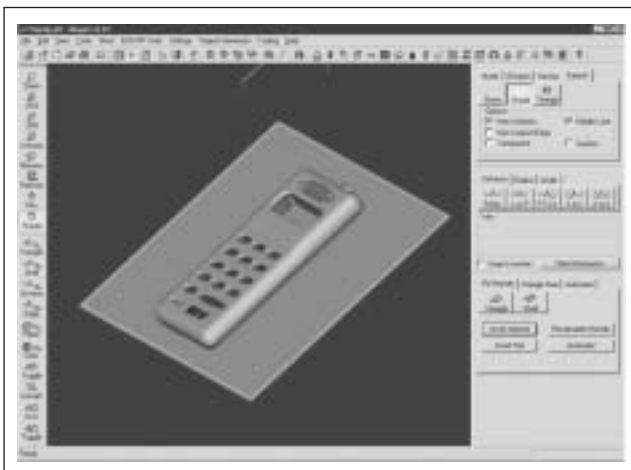


Bild 4: Werkstück, Support und Bauplattform

henden Generieren der Schichtinformationen nur Konturen entstehen. Beim Lasersintern werden aber Flächen benötigt, die im Rapid Tooling-Bauprozess aufgeschmolzen werden.

Beim Konstruieren selbst müssen verschiedene Regeln für eine Rapid Tooling-gerechte Gestaltung beachtet werden. Hierzu gehören

neben einigen ganz konkreten Bedingungen – wie z. B. das Beachten von Höhen-Dickenverhältnissen bei Stegen und Zapfen oder minimale Strukturen, die gesintert werden können – auch ganz allgemeine Grundsätze.

So ist es beispielsweise wichtig, sich immer wieder zu verdeutlichen, dass es sich beim Rapid



Bild 5: Rapid Tooling-Anlage EOSINT M 250

Tooling um ein aufbauendes Fertigungsverfahren handelt; d.h. die Komplexität des Werkstücks spielt im Gegensatz zu anderen Fertigungsverfahren keine Rolle. Im Gegenteil, je strukturierter das Bauteil ist, umso kürzer ist die Bauzeit und umso geringer ist die verbrauchte Pulvermenge, was wiederum niedrigere Kosten bedeutet. Des Weiteren muss sich der Konstrukteur immer bewusst sein, dass er durch das Lasersintern Strukturen herstellen kann, die bislang nicht oder nur unter großem Aufwand zu fertigen waren. Hierzu zählen beispielsweise Kühlkanäle, die dreidimensional durch eine Form verlaufen.

Abschließend muss das konstruierte CAD-Modell in das STL-Format konvertiert werden. Unter STL versteht man dabei ein spezielles Triangulationsverfahren, welches das Computermodell in zahlreiche kleine Dreiecke umwandelt, die dann von der Rapid Tooling Software gelesen werden können. Als CAD-Programme für die Konstruktion eignen sich unter anderem ProE, CATIA V5 oder SolidWorks (siehe **Bild 2**).

Das erzeugte STL-File wird als nächstes zur Datenaufbereitung an eine spezielle Rapid Tooling-Software übertragen. Bei der Datenaufbereitung bzw. beim Einrichten des „Jobs“ gibt es einige Besonderheiten des am Institut für Maschinenwesen (IMW) eingesetzten Rapid Tooling-Verfahrens, des direkten Metall-Lasersinterns (DMLS), zu beachten: Im DMLS-Prozess können die Bauteile nicht „frei schwebend“ aufgebaut werden, d. h. die Bauteile brauchen immer einen festen Kontakt zu einer Bauplattform, die mit in die Prozesskammer eingelegt wird. Um diesen festen Halt zu gewährleisten, werden so genannte Supportstrukturen erzeugt (siehe **Bild 3**).

Diese Stützstrukturen dienen zum einen zum Abtrennen des Werkstücks von der Bauplattform, und zum anderen stützen sie Auskra- ▶

gungen, die größer als 3 mm sind. Um die Supportstrukturen nach dem Bauprozess leichter entfernen zu können, haben diese einen wabenartigen Aufbau und werden mit speziellen Parametern belichtet.

Formhälften oder Funktionsteile können aber auch direkt auf der Bauplattform gesintert werden, wodurch zum einen Material eingespart wird, da die Bauplattform als Volumen mitgenutzt werden kann und nicht mehr zusätzlich aufgebaut werden muss. Zum anderen entsteht eine feste Unterlage zum Einsetzen der Form in das Stammwerkzeug. In **Bild 4** ist die Bauplattform, das Bauteil und die Supportstruktur dargestellt. Die so eingerichteten Daten können nun in Schichtinformationen zerlegt werden. Die eingestellte Schichtstärke hängt dabei von der Korngröße des verwendeten Metallpulvers ab. Die im DMLS-Bauprozess gesinterten Werkstücke besitzen eine typische Schichtstärke von 0,05 oder 0,02 mm.

Anschließend werden die erzeugten Schichtinformationen zur Rapid Tooling-Anlage übertragen, wo dann – entsprechend diesen Informatio-

nen – das stoffliche Modell mittels eines Lasers schichtweise generiert wird.

### Der DMLS-Bauprozess

Die am IMW verwendete Rapid Tooling-Anlage EOSINT M 250 (siehe **Bild 5**) besteht im wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- einem CO<sub>2</sub>-Laser (200 W) zum Aufschmelzen des Metallpulvers,
- der Trägerplattform mit aufgesetzter Bauplattform,
- der Dosierplattform zur Bevorratung des Metallpulvers,
- dem Abstreifer zum Auftragen des Pulvers auf die Bauplattform und
- dem Prozessrechner mit der Steuerungssoftware.

Zu Beginn des Sinterprozesses (siehe **Bild 6**) wird die Bauplattform erstmalig mit einer dünnen Metallpulverschicht bedeckt. Diese Schicht wird dann, entsprechend der ersten Schichtinformation über die Geometrie des herzustellenden Bauteils, von einem CO<sub>2</sub>-Laser aufgeschmolzen.

Nachdem so die erste Schicht belichtet wurde, wird die Bauplattform um die nächste Schichtstärke abgesenkt und der Abstreifer bis zum Anschlag rechts von der Dosierplattform gefahren. Das Absenken der Bauplattform ist erforderlich, da durch die hohe Oberflächenspannung des Metallpulvers jede Schicht nach der Belichtung eine leicht unregelmäßige, raue Oberfläche besitzt, an welcher der Abstreifer hängen bleiben könnte. Hat der Abstreifer seine Position rechts vom Werkstück erreicht, wird die Dosierplattform soweit angehoben, bis genügend Pulver zur Verfügung steht, um die Bauplattform erneut vollständig zu bedecken.

Als nächstes fährt der Abstreifer wieder nach links und trägt so die nächste Pulverschicht auf, die dann entsprechend der zweiten Schichtinformation über das Bauteil aufgeschmolzen wird. Bei dieser Verfahrensbewegung glättet der Abstreifer gleichzeitig die Oberfläche des Bauteils. Überflüssiges Pulver fällt über den links neben der Bauplattform befindlichen Schacht in einen Auffangbehälter. Die Belichtungsparameter werden beim Sinterprozess so gewählt, dass sich ►

Anzeige

## Wir arbeiten an einer bewegten Zukunft

Auch für Sie. Denn Bewegung ist unser Geschäft, ein Geschäft, in dem man nur Erfolg haben kann, wenn man in Bewegung bleibt und sich weiterentwickelt: In der eigenen Arbeit, im Team, im Unternehmen. Unsere Erfahrungen als internationales Unternehmen sowie unsere zahlreichen Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten helfen die täglichen Herausforderungen zu meistern. Lassen Sie uns gemeinsam etwas bewegen!

Weitere Informationen:  
[www.siemens.com/ts/jobs\\_karriere](http://www.siemens.com/ts/jobs_karriere)  
 E-Mail: [perspektiven@ts.siemens.de](mailto:perspektiven@ts.siemens.de)

**SIEMENS**

efficient rail solutions

THEM 170458

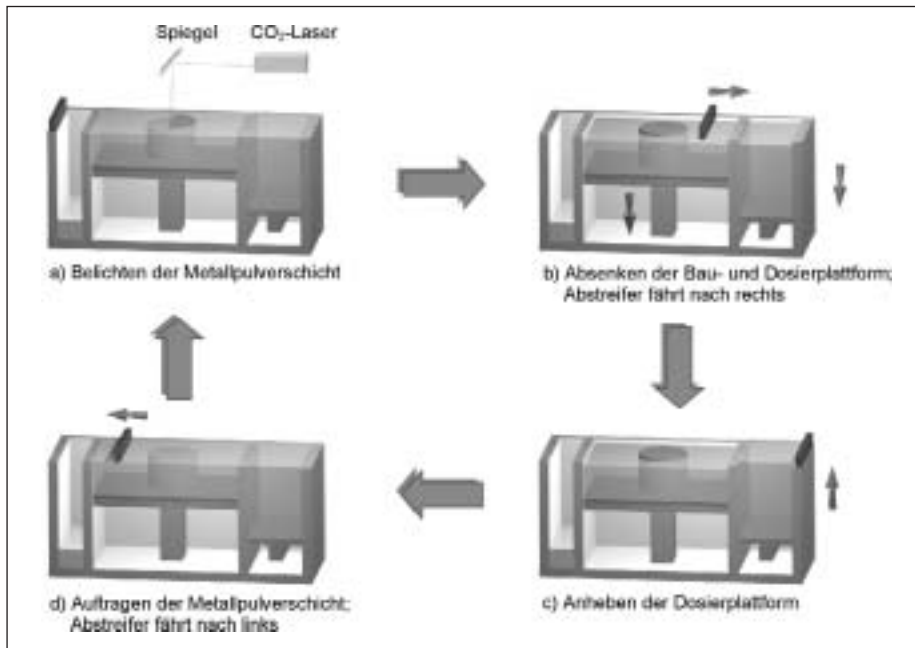


Bild 6: Der Rapid Tooling-Bauprozess

die neue Schicht mit der darunter liegenden fest verbindet.

Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis aus den CAD-Informationen ein vollständiges, dreidimensionales stoffliches Bauteil entstanden ist.

Grundlage für die maximal erreichbare Qualität der lasergesinterten Bauteile sind die Materialeigenschaften des verwendeten Metallpulvers. Hierbei spielen insbesondere das Sinterverhalten und die Partikelgrößenverteilung eine entscheidende Rolle. Die am IMW verwendeten Bronze- und Stahlpulver wurden speziell für das direkte Lasersintern entwickelt und verfügen über die in **Tabelle 1** aufgeführten Materialeigenschaften.

Eine weitere Besonderheit des DMLS-Sinterprozesses ist der Aufbau der Werkstücke in einer so genannten Hülle-Kern-Struktur. Dies bedeutet, dass das Bauteilvolumen in einen Hüllbereich (Skin) und einen Kernbereich (Core) aufgeteilt wird, die mit unterschiedlichen Belichtungsparametern und sogar mit unterschiedlichen Schichtstärken aufgebaut werden können. Ziel dieser Unterscheidung ist es, eine harte Oberfläche bei gleichzeitig elastischem Bauteilinneren zu erreichen.

Aufgrund dieses Hülle-Kern-Aufbaus sollten Bohrungen für Auswerfer oder Zapfen, Löcher für Befestigungsschrauben, Kühlkanäle, usw. bereits in der CAD-Konstruktion berücksichtigt werden. Werden diese Bohrungen im CAD-File nicht vorgesehen und erst nachträglich eingebracht, verläuft die Materialausparung durch den mechanisch wesentlich instabileren Kernbereich.

Bei der Laserbelichtung einer jeden Schicht selbst (siehe **Bild 7**) wird zunächst die Kontur

der Schicht ein erstes Mal abgefahren. Da der fokussierte Laserstrahl eine gewisse Aushärtebreite (ca. 0,6 mm) besitzt, muss der Fokuspunkt um die Hälfte der Aushärtebreite – von der Kontur aus nach innen – versetzt werden, um sicherzustellen, dass die Kontur des späteren Bauteils genau dem Maß der CAD-Konstruktion entspricht. Diese Positionskorrektur des Fokuspunktes wird als Strahlkompensation bezeichnet. Sie entspricht bei der ersten Konturbelichtung etwas mehr als der Hälfte der Breite einer durch den Laserstrahl verfestigten Spur.

Nach der Belichtung der Kontur wird der gesamte Innenbereich verfestigt. Der Laserstrahl fährt dabei die Fläche Linie für Linie ab: Dies geschieht mit sehr hoher Füllgeschwindigkeit  $V_H$ . Der Abstand der Linien, der sogenannte Fülllinienabstand  $h_H$ , beträgt nur etwa ein Viertel des Fokusedurchmessers. Dadurch fährt der Laserstrahl mehrmals über einen zu belichtenden Punkt. Dies bewirkt, dass über einen längeren Zeitraum die Temperatur auf einem hohen Niveau gehalten wird und die Sinterprozesse vollständig ablaufen können.

Nachdem der gesamte Innenbereich verfestigt wurde, erfolgt eine zweite Belichtung der Außenkontur des Bauteils. Hier wird die Konturkompensation des Lasers auf den exakten Wert eingestellt, um zu gewährleisten, dass die Kanten des Bauteils genau den CAD-Daten entsprechen und somit maßgenaue Teile aufgebaut werden können.

Diese zweite Belichtung der Kontur hat zwei wesentliche Vorteile:

Durch die höhere Wärmeleitung des bereits verfestigten Materials im Bereich der ersten Kontur entstehen aufgrund höherer Temperaturgradienten schärfere Bauteilkonturen: Dadurch sinken

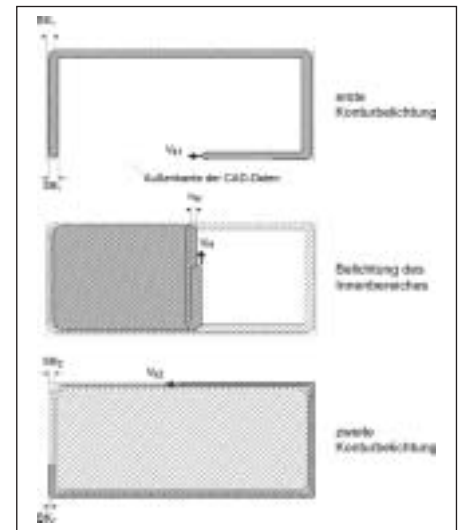


Bild 7: Strahlkompensation beim Lasersintern

die Rauigkeiten der vertikalen Flächen. Da das Material bereits bei der Belichtung der ersten Kontur und des Innenbereichs in x, y-Richtung geschwunden ist, erzeugt die zweite Belichtung eine Kontur, die den Maßen der Konstruktion entspricht – die Genauigkeit des Bauprozesses wird gesteigert.

Durch Variation der Füllgeschwindigkeit und des Fülllinienabstandes wird das Bauteilvolumen bzw. die Bauteildichte beeinflusst, was wiederum zu unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften führt:

Bei einer niedrigen Füllgeschwindigkeit und kleinem Fülllinienabstand steigt die Dichte des gesinterten Werkstücks: Dadurch werden höhere mechanische Festigkeiten erzielt. Im Einzelnen sind dies die:

- Biegebruchfestigkeit,
- Zugfestigkeit,
- Härte und
- Druckfestigkeit.

Zudem steigt die Wärmeleitfähigkeit.

Bei hohen Füllgeschwindigkeiten und großen Fülllinienabständen verringert sich die Dichte und damit die Festigkeit des Werkstücks – gleichzeitig sinkt aber die benötigte Bauzeit.

Die Qualität der horizontalen Oberflächen hängt ebenfalls von der Füllgeschwindigkeit und dem Fülllinienabstand ab. Bei kleinen Füllgeschwindigkeiten und geringen Fülllinienabständen ergeben sich niedrigere Oberflächenrauigkeiten.

Die Güte der vertikalen Oberflächen wird unter anderem durch die Konturgeschwindigkeit  $V_k$  bestimmt. Eine niedrige Geschwindigkeit bedeutet hier ebenfalls eine geringe Oberflächenrauigkeit.

Die Bauteilqualität wird aber nicht nur von den verschiedenen Prozessparametern beeinflusst, sondern auch wesentlich von den unterschiedlichen Belichtungsstrategien und Belichtungsparametern. ▶



	DirectMetal 50	DirectMetal 20	DirectSteel 50	DirectSteel 20
<i>Allgemeine Prozessdaten:</i>				
min. Schichtdicke (µm)	50	20	50	20
Bauteilgenauigkeit (µm)	± 80	± 50	± 100	± 50
kleinste Wandstärke (mm)	0,7	0,6	0,9	0,7
<i>Oberflächenrauigkeit R<sub>z</sub>:</i>				
ohne Mikrostrahlen (µm)	50 - 60	40 - 50	60	50
nach Mikrostrahlen (µm)	20	15	35	15
nach Polieren (µm)	bis 1	bis < 1	bis < 1	bis < 1
<i>Bauteileigenschaften:</i>				
Restporosität (%)	20	8	5	2
Zugfestigkeit (MPa)	200	400	500	600
E-Modul (GPa)	50	80	110	130
Biegebruchfestigkeit (MPa)	400	700	950	1000
Härte (HB)	90	110	200	220
max. Temperatur (°C)	400	400	800	800

Tabelle 1: Materialdaten der verschiedenen Sinterwerkstoffe

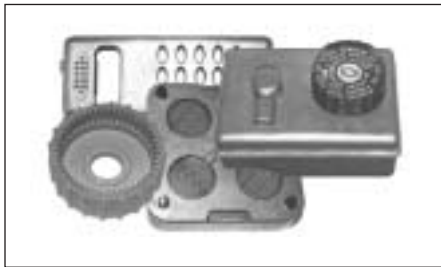


Bild 8: Lasergesinterte Bauteile

## Finishen

Nach dem Sintern der Bauteile und der Entnahme der Bauplattform aus der Rapid Tooling-Anlage wird geprüft, ob noch vorhandene Supportstrukturen zu entfernen sind.

Zur Verbesserung der Oberflächenqualität werden die Werkstücke in den meisten Fällen noch sandgestrahlt; dadurch wird eine Oberflächenrauigkeit von ca. 20 µm erreicht. Durch Polieren und Strahlen sind aber auch Oberflächenqualitäten von 1 bis 3 µm möglich.

Nach dem Sintern besitzen die Bauteile eine geringe Restporosität – aus diesem Grund werden sie häufig infiltriert; hierzu können niedrig schmelzende Metalle oder Epoxidharze verwen-

det werden. Die Epoxidharz-Infiltration hat sich dabei als besonders geeignet herausgestellt. Zum einen ist sie sehr unkompliziert und schnell anzuwenden (das Bauteil wird lediglich mit dem Epoxidharz eingestrichen und 2 Stunden bei 160°C ausgehärtet), zum anderen wird eine Festigkeitssteigerung erreicht.

Nach der Infiltration sind die Bauteile vollkommen dicht, was insbesondere für Kühlkanäle wichtig ist. Die lasergesinterten Bauteile können zur Weiterbearbeitung auch geschweißt, gelötet, erodiert oder spanend bearbeitet werden.

## Fertige Sinterprodukte

Durch den DMLS-Bauprozess können z. B. Formen für den Kunststoff- und Gummispritzguss oder für Faserverbundbauteile gesintert werden. Die erreichbaren Stückzahlen der Positivteile liegen dabei zwischen einigen hundert und mehreren tausend Teilen. Dies hängt jeweils von der Komplexität der Bauteile ab.

Es ist aber auch möglich, metallische Funktionsteile direkt herzustellen, wie beispielsweise Zahnräder oder Wellen. Eine weitere interessante Anwendung ist die Herstellung von Elektroden für das funkenerosive Abtragen. Natürlich können aber auch Prototypen oder Anschauungsmodelle mittels Rapid Tooling hergestellt werden.

In **Bild 8** sind exemplarisch einige am IMW lasergesinterte Bauteile dargestellt.

## Zusammenfassung

Wie die Ausführungen gezeigt haben, ist unter dem Begriff Rapid Tooling nicht nur der eigentliche Sinterbauprozess, sondern die gesamte Verkettung der Fertigungszeiten zu berücksichtigen.

Dies ist insbesondere bei Fragen zur Qualitätssteigerung der Sinterprodukte, neuen Einsatz- und Anwendungsgebieten und der Verkürzung der Fertigungszeiten zu berücksichtigen.

Zudem wird deutlich, dass die Vorstellung, aus einer beliebigen Konstruktion unmittelbar ein stoffliches Bauteil zu erhalten, zur Zeit noch mit verschiedenen Arbeitsschritten verbunden ist.

Dipl.-Ing. Detlef Trenke  
Institut für Maschinenwesen  
Robert-Koch-Straße 32  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Tel.: 05323/72-3506  
Fax: 05323/72-3501  
E-Mail: trenke@imw.tu-clausthal.de



# Altbergbau – Erkundung, Bewertung, Sicherung, Sanierung

## 2. Altbergbaukolloquium an der TU Clausthal

Von Klaus Maas

Vom 7. bis 9. November 2002 fand an der TU Clausthal mit über 300 Teilnehmern aus Deutschland, Österreich, Polen und der Schweiz das 2. Altbergbaukolloquium statt. Es wurden 27 Fachvorträge gehalten. 13 Firmen präsentierten sich mit einem Stand. Darüber hinaus war eine Posterausstellung eingerichtet.

Zielgruppe für die Kolloquiumsreihe sind Beschäftigte aus den Bereichen Geotechnik, Markscheidewesen, Bergbau, Geologie und Bauingenieurwesen von Behörden, Ingenieurbüros sowie Lehr- und Forschungseinrichtungen. Ihnen wird mit der Veranstaltung Gelegenheit gegeben, neue Ergebnisse, Erkenntnisse, Arbeitsmethoden sowie technische Lösungen auf dem Gebiet der Erkundung, Bewertung, Sicherung und Verwahrung von untertägigem Altbergbau und sonstigen ehemals bergmännisch aufgefahrenden Hohlräumen vorzustellen, Erfahrungen auszutauschen und Kontakte zu pflegen.

Das 2. Altbergbaukolloquium wurde vom Clausthaler Institut für Geotechnik und Markscheidewesen (Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Busch, Dr.-Ing. K. Maas) veranstaltet und unterstützt durch die Mitveranstalter der Institute für Geotechnik (Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Klapperich, Dipl.-Geol. D. Tondera) sowie Markscheidewesen und Geodäsie (Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. A. Sroka) der TU Bergakademie Freiberg und dem Arbeitskreis 4.6 „Altbergbau – geotechnische Erkundung und Bewertung“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (Obmann Dr.-Ing. habil. G. Meier). Die Altbergbaukolloquien finden im Wechsel an den Technischen Universitäten Freiberg und Clausthal statt.

Grußworte des Präsidenten der TU Clausthal, Univ.-Prof. Dr. E. Schaumann, und des Präsidenten des Landesbergamts Clausthal-Zellerfeld, Bergdirektor L. Lohff, eröffneten die Veranstaltung. Danach stellte G. Meier mit dem Eröffnungsreferat den Erarbeitungsstand der Empfehlungen des Arbeitskreises 4.6 „Geotechnische Erkundung und Bewertung von Altbergbau“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik zur Diskussion. Es wurden erstmals eine vorläufige Inhaltsangabe sowie grundlegende Begriffsbestimmungen und Geltungsbereiche vorgelegt.

Die folgenden Fachvorträge gliederten sich in

die Schwerpunktthemen:

- Geo-Informationssysteme (GIS) und Fernerkundung
- Erkundung und Modellierung
- Erkundung, Bewertung, Verwahrung
- Sicherung und Sanierung von Schächten und Strecken
- Altbergbauliche Folgen im Überblick.

### GIS und Fernerkundung

Der erste Themenblock GIS und Fernerkundung wurde von C. Gläßer mit dem Fachvortrag „Was können Fernerkundungsdaten für das Monitoring von Braunkohlenbergbaufolgelandschaften leisten“ eingeleitet. Mitautoren waren J. Birger, J. Frauendorf und U. Nocker. Verschiedene anwendungsbezogene Fallbeispiele und die verwendeten Fernerkundungsdaten wurden erläutert. Visuell unterstützt wurde der Vortrag durch eine Videoanimation über Tagebaulandschaften.

S. Wagner berichtete über die Erfassung von kurzzeitigen und unerwarteten Senkungen der Tagesoberfläche mittels Interferometrie (InSAR). Mitautoren waren E. Popiolek, H. Hejmanowski, A. Krawczyk und A. Sroka. Die in polnischen Bergbaurevierien durchgeführten Versuche hätten ergeben, dass mit Hilfe der differentiellen Radarinterferometrie die Überwachung der Bodenbewegungen über alten Abbaufeldern systematisch und wirtschaftlich möglich sei.

G. Brüggemann stellte Projektbeispiele für die Nutzung von Geoinformationssystemen und Fernerkundungsverfahren zur Erkundung und Bewertung von Altbergbau vor. Mitautoren waren N. Benecke und L. Petrat. Erläutert wurden das Archivierungs- und Informationssystem für Risse und Karten der Deutschen Montan Technologie GmbH, das Managementsystem für Tagesöffnungen und Schächte sowie die Ziele und die ersten Ergebnisse des Projekts „MinMoveMonitor“ zur flächenhaften Überwachung altbergbaubedingter Bodenbewegungen mit Methoden der Fernerkundung.

O. Landsmann präsentierte die Ergebnisse zweier vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) geförderten Forschungsvorhaben. Auf der Basis von hochauflösenden

Satelliten- und Flugzeugdaten sei ein anwendungsfähiges, praxisnahes und zugleich flächendeckendes Monitoringsystem zur Untersuchung von Bergschadensvorgängen geschaffen worden. Der Untersuchungsraum liegt im Kali-Altbergbaugelände Staßfurt, Sachsen-Anhalt. Eine wesentliche Komponente stelle der Aufbau eines Fach-Informationssystems zur Bearbeitung und Darstellung der komplexen geologisch-tektonischen und bergmännischen Sachverhalte, sowie der durch Bohraufschlüsse, terrestrische Messungen und fernkundliche Auswertungen ermittelten Parameter dar. Mitautoren waren G. Seifert, H. Thoma, W. Busch, Chr. Fischer und K. Maas.

U. Kaiser stellte das Bergbau-Informationssystem (BIS) der Bergbehörden des Landes NRW vor, welche jährlich in mehreren Tausend Fällen Auskünfte und Stellungnahmen zur altbergbaulichen Situation gäben oder im Rahmen ihrer Zuständigkeit als Ordnungsbehörden Maßnahmen zu ergreifen hätten.

Der Vortrag von M. Achtzehn war dem Informationssystem Altbergbau Braunkohle (ISA-B) gewidmet. Dieses GIS-basierte System diene der Unterstützung der Flächennutzungs- und Sanierungsplanung sowie der vorbeugenden Gefahrenabwehr in Sachsen-Anhalt. Mitautoren waren M. Fiedler und P. Tropp.

### Modellierung

Der zweite Vortragsblock umfasste Beiträge zur Erkundung und Modellierung altbergbaulicher Hohlräume. Es wurden Probleme bei Maßstabs- und Koordinatensystemkorrelationen zwischen alten und gegenwärtigen Karten des Bergbaus (J. Jura, Z. Niedojalo, W. Wadzyrk), die Anforderung an die Erkundung und Bewertung einer stillgelegten und nicht risslich dokumentierten Braunkohlengrube (St. Paul, H. Birndt), moderne Methoden der Hohlraummodellierung aus Sicht von Höhlenforschern (M. Heller, G. Stefens, Th. Stöllner) sowie die Bedeutung bergschadenkundlicher Prognosemodelle für den Altbergbau (K.-H. Löbel, A. Sroka) behandelt.

### Erkundung, Bewertung und Verwahrung

Im anschließenden Vortragsblock standen thematisch die Erkundung, Bewertung und Verwahrung altbergbaulicher Hohlräume im Vordergrund. Vorgetragen wurde zunächst über Erkundungs- und Verwahrungsmaßnahmen unter Straßen (G. Meier) sowie über Schäden und Sanierung von Baugrund und Fundamenten (J. Kardel, D. Mucke). Die folgenden zwei Beiträge stellten die Nutzung von Laserscanneraufmaßen für eine verbesserte Bestandsdokumentation und Verfüllplanung von Altbergbaubereichen (V. Busse, P. Kern) bzw. die geotechnische Überwachung der Verfüllung von Altbergbaubereichen (L. Teichmann, W. Fischle, R. Mauke) vor. Der Vortragsblock wurde durch einen Beitrag über ▶

die Senkungsprognose der Tagesoberfläche über einem stillgelegten Solfeld (J. Fenk) abgeschlossen.

## Sicherung und Sanierung

Der vierte Vortragsblock beinhaltete Beiträge zur Sicherung und Sanierung von Strecken und Schächten. Berichtet wurde über das Monitoring von Altkalischächten als ein Instrument zur Beurteilung von Gefährdungspotentialen (H. Rauche, A. Jockel, H. Rauche) sowie über ein neues Verfahren zum Verschluss von Schächten und Strecken im Salz (W. Sander). Anschließend wurden die Erfahrungen bei Sicherungsarbeiten an Altbergbauschächten im Aachener Steinkohlenrevier (A. Lengemann, K.-H. Sahl) sowie bei der Aufwältigung und Sanierung eines abgeworfenen Schachts im Bereich einer Deponie (H.-J. Benning, J. Heiming, M. Mittrach) vorgestellt. Im folgenden Vortrag wurden Ausgasungs- und Standsicherheitsprobleme abgeworfener Schächte des Steinkohlenbergbaus behandelt (H. Quanté). Die Sanierung eines tagesbruchgefährdeten alten Steinkohlenschachts im ehemaligen westsächsischen Steinkohlenrevier war Thema des Vortrags von H. Birndt und J. Kowarik. Der Vortragsblock endete mit dem Beitrag von O. Wallner, P. Wolff und M. Penzel über die Nachverwertung von Tagesschächten der WISMUT GmbH.

Der nachgereichte Beitrag von G. Wieber behandelte die geochemische Beschaffenheit und die Umweltauswirkungen von Halden und Klärteichen der 1982 stillgelegten Grube Rosenberg bei Braubach und die Sanierungsanforderungen. In Braubach am Rhein wurden Blei-, Zink-, Silber- und Kupfererze abgebaut. Eine Rekultivierung des Halden- und Betriebsgeländes sei nicht erfolgt. Die freiliegenden Aufbereitungsrückstände hätten hohe Schwermetallgehalte aufgewiesen. Gefahren für die Umwelt seien vor allem durch die diffuse Verlagerung stark belasteter

feinkörniger Rückstände des Bergbaus (Tailings) durch Wind und Oberflächenwasser, durch mögliche orale und inhalative Aufnahme sowie durch die Bildung hoch belasteter Sickerwässer von der Altlast gegeben gewesen.

## Altbergbauliche Folgen im Überblick

Im letzten Vortragsblock wurden in Übersichtsvorträgen verschiedene altbergbauliche Folgen behandelt. R. Schmidt berichtete über den Altbergbau im Freistaat Sachsen und sprach Problemlösungen an. Sachsen verfüge über rund 6.000 bekannte Schadensstellen aus altem Bergbau auf Erz, Steinkohle und Braunkohle sowie aus Hohlräumen nicht bergbaulichen Ursprungs. B. Randjbar erläuterte die bergschadenkundliche Bewertung im Hinblick auf das Gefährdungspotential auf der Tagesoberfläche bei aufgelassenen Altbergbauen in Österreich. Anlass zu seinen Ausführungen war die Häufigkeit der Bergschäden in Form von Rutschungen, Änderungen von Wasserständen, Tagesbrüchen, Erdfällen und Pingen, ausgehend von alten Bergbauen. Gefährdungspotential und Sicherungsmaßnahmen in Altbergbaubereichen des Aachener Steinkohlenreviers waren Gegenstand des Vortrags von M. Heitfeld, P. Rosner, J. Klünker, H. Sahl und A. Welz. Der Altbergbau habe in dem z.T. dicht besiedelten Aachener Steinkohlenrevier mehrere hundert Tagesöffnungen und tagesnahe Abbauhohlräume hinterlassen. Im Rahmen eines vom Land Nordrhein-Westfalen aufgelegten Förderprogramms zur Erkundung und Sicherung von Abbauhohlräumen des tagesnahen Bergbaus wurde jetzt erstmals das Gefährdungspotential in einem Teilbereich des Aachener Altbergbaugebiets gutachterlich bewertet. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden im Beitrag dargestellt. H. Klapperich und R. Wolf beleuchteten die technischen und juris-

tischen Aspekte von Bergbaufolgelandschaften. Die Befassung mit den Hinterlassenschaften des Bergbaus an der Tagesoberfläche hinsichtlich der Wiedernutzung werde im modernen Flächenrecycling realisiert. Eine erfolgreiche Umsetzung gelänge mittels eines interdisziplinären Ansatzes, der das enge Zusammenwirken von Ingenieuren, Stadt- und Regionalplanern, Ökologen und Vertretern der Finanzwirtschaft und des Versicherungswesens sowie Behördenvertretern und Politik bedinge. Im Zentrum stünde dabei die Rolle des Eigners bzw. Investors. Die Autoren legten dar, dass wegweisende Entwicklungen des modernen Flächenrecyclings in technischer und organisatorischer Sicht durch den Bergbau erbracht wurden.

Am abschließenden dritten Tag des Kolloquiums stand die Befahrung des Erzbergwerks Rammelsberg in Goslar mit seiner 1000-jährigen Bergbaugeschichte auf dem Programm. Das nächste Altbergbaukolloquium wird voraussichtlich am 6. und 7. November 2003 in Freiberg stattfinden.

Der 400-seitige Tagungsband zum 2. Altbergbaukolloquium ist im Papierflieger Verlag GmbH erschienen und kann gegen einen Kostenbeitrag von 15 € beim Institut für Geotechnik und Markscheidewesen bestellt werden. Informationen zum Kolloquium und die Kurzfassungen der Vorträge sind im Internet unter der Adresse [www.igmc.tu-clausthal.de/Altbergbaukolloq/index.htm](http://www.igmc.tu-clausthal.de/Altbergbaukolloq/index.htm) zu finden.

*Dr.-Ing. Klaus Maas  
Institut für Geotechnik und Markscheidewesen  
Erzstraße 18  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Tel.: 05323/72-3515  
Fax: 05323/72-2479*

# Die Geophysik auf dem Holzweg

Untersuchungen an Hölzern mit der spektralen Induzierten Polarisation

Von Norbert Schleifer und Andreas Weller

Die spektrale Induzierte Polarisation (SIP) ist ein geoelektrisches Verfahren, das hauptsächlich zur Exploration von Erzen eingesetzt wird. Elektronische Leiter wie Metalloxide, Metallsulfide und Graphit produzieren starke Polarisierungseffekte und lassen sich durch die SIP hervorragend prospektieren. Daneben ist die Polarisierbarkeit eines Untergrundes auch von Tonmineralogie, Porenraum und chemischer Zusammensetzung der Porenlösung abhängig, weshalb das Verfahren seit den 80er Jahren verstärkt in der Umweltgeophysik zum Einsatz kommt. Zur Fragestellung gehören das Auffinden von Altlasten und der Grundwasserschutz.

Im Rahmen des DFG-Projekts „Elektrische Spektroskopie“ wird am Institut für Geophysik der TU Clausthal erforscht, welche archäologischen Materialien polarisierbar sind.

Ziel ist es, die Methode in der archäologischen Prospektion zu etablieren.

Die lange Tradition der Erzverhüttung in der Harzregion und die Erfahrungen aus der Erzprospektion führten dazu, dass sich die petrophysikalische Untersuchung von Schlacken zu einem Schwerpunkt des Projekts entwickelte. Mit Hilfe der Montanarchäologen des Landes-

amtes für Denkmalpflege, Außenstelle Goslar, konnten die Laboregebnisse schließlich im Feld umgesetzt und zum Auffinden von Schlackegruben und Verhüttungsöfen genutzt werden.

Ein zweiter Schwerpunkt des Projekts ist die Bestimmung der Spektren archäologischer Hölzer. Holz spielt durch die dendrochronologische Datierung von Fundstellen eine wichtige Rolle. Bislang konnten aber mit keiner geophysikalischen Methode Holzobjekte zufriedenstellend prospektiert werden. Die Bergung gut erhaltener Holzfunde gelingt meist nur in Feuchtböden. Die hohe elektrische Leitfähigkeit dieser Böden, die sich kaum von der wassergesättigten Hölzer unterscheidet, begrenzt die Untersuchungstiefe elektromagnetischer Verfahren. Erste erfolgreiche Labormessungen mit SIP wurden an rezenten Hölzern durchgeführt. Außerdem wurden Holzproben aus Fachwerkhäusern des Spessarts und der Marktkirche zum Heiligen Geist in Clausthal in die Untersuchungen einbezogen. An Hölzern aus dem Federseemoor bei Bad Buchau (Ldkr. Biberach) und dem Campemoor (Ldkr. Vechta) sollte schließlich überprüft werden, ob auch archäologische Hölzer, die über mehrere tausend Jahre im Boden konserviert wurden, polarisierbar sind.

## Die Methode

Die Induzierte Polarisation (IP) zählt zu den geoelektrischen Methoden der angewandten Geophysik. Über zwei Stromelektroden wird eine definierte Signalfrequenz, meist ein Sinus- oder Rechtecksignal, von wenigen Milliampere in den Untergrund eingespeist. Zwischen zwei weiteren Elektroden wird das elektrische Potential bestimmt. Die Messung der IP mit mehr als einer Frequenz bezeichnet man als spektrale Induzierte Polarisation. Die Frequenzen mit denen SIP-Messungen durchgeführt werden, reichen von wenigen Millihertz bis zu einigen Kilohertz.

Polarisationseffekte im Untergrund führen zu einer Phasenverschiebung zwischen Stromsignal und gemessener Spannung. Die Messeinheit ist Milliradian (mrad). Die Ursachen für Polarisierungseffekte sind elektrochemische Vorgänge an den Grenzflächen zwischen Mineralien und dem Elektrolyt im Porenraum. Wird ein äußeres elektrisches Feld erzeugt, versuchen die Ionen innerhalb des Elektrolyts ein Ladungsgleichgewicht im Untergrund herzustellen. Erz- und Tonminerale sowie Engstellen im Porenraum (Membraneffekt) und die chemische Zusammensetzung des Elektrolyts beeinflussen diesen Ladungsausgleich und können zu einer zeitlichen Verschiebung bzw. Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung führen.

Das Auftreten von Polarisierungseffekten wurde erstmals bei der Durchführung von Widerstandsmessungen in den 30er Jahren beobachtet und anschließend gezielt zur Erkundung von Erzlagern verwendet.

## Laboraufbau und Präparation der Proben

Die Labormessungen werden mit einer SIP-Fuchs-Apparatur durchgeführt. Die Apparatur zeichnet das Stromsignal und das gemessene Potential auf. Nach Abschluss jeder Frequenzmessung werden die Daten an die Basiseinheit weitergeleitet, wo der spezifische Widerstand und die Phase berechnet werden. Mit Hilfe eines Laptops lassen sich die Frequenzspektren der beiden Parameter während einer laufenden Messung in Echtzeit darstellen. Die SIP-Fuchs arbeitet in einem Frequenzbereich von 1,4 mHz bis zu 12 kHz. Die Aufzeichnung eines kompletten Spektrums dauert etwa zwei Stunden. ▶

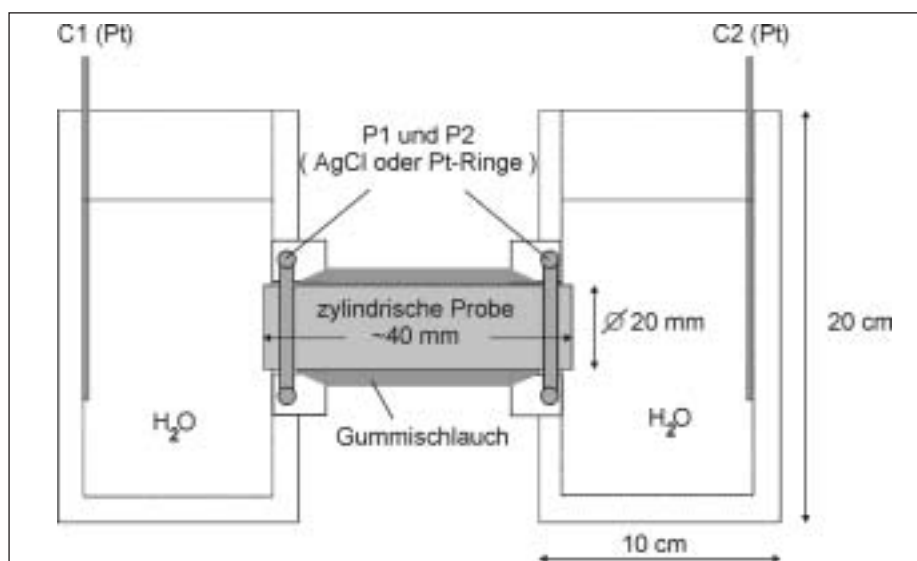


Bild 1: Skizze des Laboraufbaus. Die Elektroden aus Platin (Pt) sind mit P1 und P2 (Potentialmessung) und C1 und C2 (Stromeinspeisung) gekennzeichnet.



Bild 2: Scheibe des Eichenbalkens aus der Marktkirche zum Heiligen Geist. Die Entnahmepunkte der axialen Proben sind deutlich zu erkennen.

Der Aufbau besteht aus zwei Wassertanks (Bild 1), die mit Leitungswasser gefüllt sind. Zwei konische Probenhalter justieren die Probe zwischen den Tanks (Bild 1). In jeden Probenhalter ist eine ringförmige Potentialelektrode integriert, die optional aus Platin oder Silberchloriddraht bestehen kann. Platinelektroden, die sich in den Wassertanks befinden, speisen das Stromsignal ein. Der Stromfluss wird dabei über das Leitungswasser gewährleistet.

Die zylindrische Holzprobe mit einem Durchmesser von 20 mm und einer Länge von etwa 35 mm wird zwischen den beiden Wassertanks eingespannt und mit Hilfe eines Gummischlauchs abgedichtet. Um Anisotropie-Effekte zu berücksichtigen, wird versucht, aus Handstücken zylindrische Proben parallel und senkrecht zu den Jahrringen zu entnehmen. In Analogie zu Bohrkernen bezeichnet man erstere als axiale und letztere als radiale Probe. Vor der Messung werden die Holzproben mit Leitungswasser gesättigt. Die Handstücke aus den Mooren waren bereits wassergesättigt und wurden in diesem Zustand auch gemessen.

## Ergebnisse

### Spektren von Holzproben der Marktkirche zum Heiligen Geist

Während Sanierungsarbeiten an der Marktkirche zum Heiligen Geist im Stadtteil Clausthal wurde dem Institut für Geophysik ein Stück eines Eichenbalkens aus dem Mittelbau für Laboruntersuchungen zur Verfügung gestellt. Eine Datierung des Balkens im dendrochronologischen Labor des Seminars für Vor- und Frühgeschichte der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main ergab als Fälldatum der Eiche das Jahr 1723 n. Chr. (Labor-Nr. Ffm 2444).

Den Jahrringen von außen nach innen folgend wurden dem Balken 11 zylindrische Proben in axialer Richtung entnommen (Bild 2). Es sollte untersucht werden, ob die Lage des Entnahme-

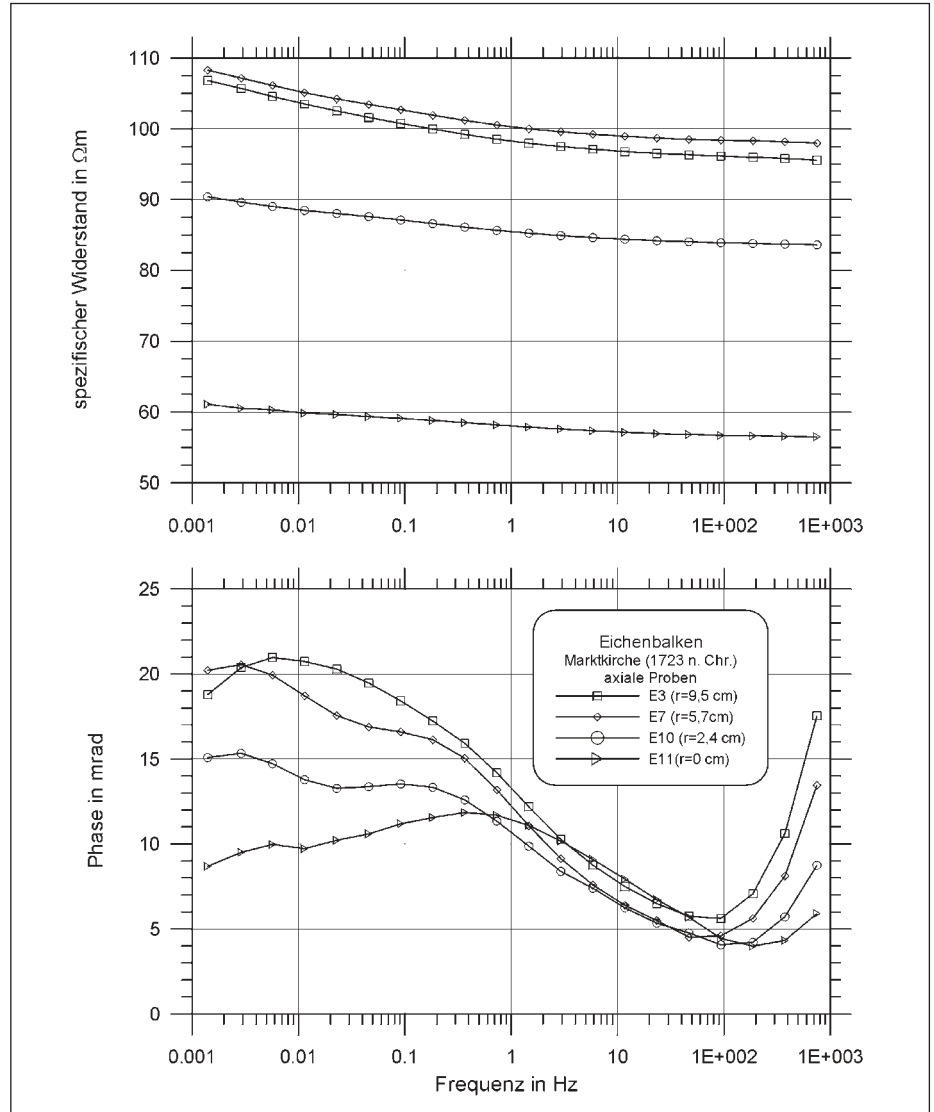


Bild 3: Spektren von vier ausgewählten Proben des Eichenbalkens aus der Marktkirche zum Heiligen Geist

punktes der Probe einen Einfluss auf die Messergebnisse hat.

Bild 3 zeigt die Spektren von vier ausgewählten Proben. Die spezifischen Widerstände der einzelnen Proben reichen von 60 bis 110  $\Omega\text{m}$ .

Der generelle Verlauf der Phasenspektren folgt einem Muster. Einem Phasenmaximum im Frequenzbereich 1 mHz bis 1 Hz folgt ein Minimum zwischen 10 Hz und 1 kHz. Zwischen 1 und 100 Hz lassen sich die Phasenspektren der Holzproben kaum unterscheiden. Mit zunehmendem Abstand der Proben von der Baummitte nehmen die niederfrequenten Phasen zu. Es deutet sich eine Abhängigkeit der Messparameter zum Abstand von der Baummitte an. Tatsächlich ergibt sich eine Korrelation der Phasen zwischen 0,01 und 0,1 Hz und den Radien der Entnahmepunkte aller elf Proben. Die Phasen zeigen einen stetigen und fast linearen Anstieg mit zunehmendem Abstand. Liegen die Phasenwerte der innersten Probe noch bei 10 mrad, erreichen die Proben am äußeren Rand über

24 mrad. Eine Erklärung für diese Korrelation ist die abnehmende Breite der Jahrringe mit zunehmendem Radialabstand. Eine feinere Faser- und Porenstruktur führt zu vielen Engstellen, die für das Auftreten von Membranefekten verantwortlich sind. Die Folge sind erhöhte Phasenwerte.

### Vergleich rezenter und archäologischer Hölzer

Ein Vergleich von Proben gleicher Holzart, aber unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Herkunft war ein zweiter Schwerpunkt unserer Untersuchungen.

Zum einen standen uns zahlreiche Holzproben aus Fachwerkhäusern des Spessarts zur Verfügung, zum anderen wurden von den Landesämtern für Denkmalpflege der Bundesländer Niedersachsen und Baden-Württemberg archäologische Hölzer bereitgestellt, die über Tausende von Jahren in Moorböden konserviert worden waren. ►

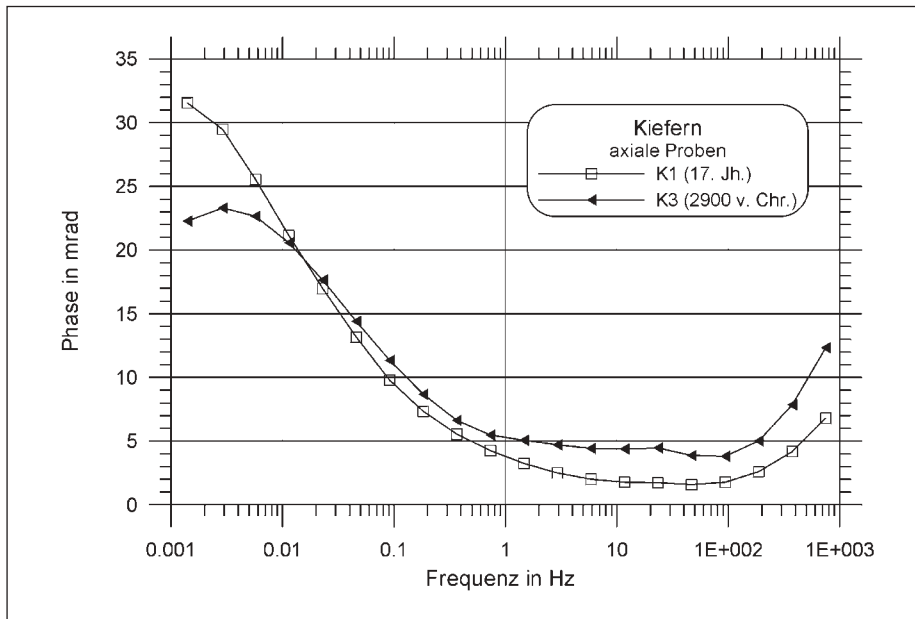


Bild 4: Vergleich zweier axialer Kiefernproben unterschiedlichen Alters

**Bild 4** zeigt den Vergleich von zwei Kiefernproben, die in axialer Richtung entnommen wurden. Bei K1 handelt es sich um eine Probe aus dem hessischen Heppenheim datiert in das 17. Jh., bei K3 um eine Probe einer jungneolithischen Holzbohle (2900 v. Chr.), geborgen aus dem Campemoor bei Vechta.

Die Widerstandsspektren der Proben variieren zwischen 50 und 300  $\Omega m$ .

Die rezente Probe K1 besitzt Widerstände von 260 bis 280  $\Omega m$ , die Probe K3 aus dem Campemoor Werte zwischen 210 und 230  $\Omega m$ . Bei beiden Proben zeigt sich eine geringe Frequenzabhängigkeit der Widerstände. Die Phasenspektren (Bild 4) zeigen den gleichen charakteristischen Verlauf mit einem Minimum im Frequenzbereich zwischen 1 und 100 Hz. Dabei bleiben die Phasenwinkel unterhalb 10 mrad. Höhere Werte werden nur unterhalb 0,1 Hz bzw. oberhalb 100 Hz erreicht. Auffällig ist, dass die Phasen von K1 fast über das gesamte Spektrum unter den Werten von K3 bleiben. Erst bei etwa 10 mHz schneiden sich die Phasenkurven, und K1 erreicht Werte von über 30 mrad, während das Maximum von K3 bei 23 mrad liegt.

### Untersuchungen zur Anisotropie

Die Untersuchung der Anisotropie der komplexen elektrischen Leitfähigkeit wird mit Hilfe von radial und axial entnommenen Proben durchgeführt. **Bild 5** zeigt die Spektren einer Eschenprobe, die von einem bronzezeitlichen (1500-1400 v. Chr.) Bohlenweg im Federseemoor stammt. Die Widerstandsspektren liegen zwischen 40 und 80  $\Omega m$ . Unterhalb 10 Hz lassen sich die Spektren der axialen und radialen Probe deutlich unterscheiden. Die radiale Probe besitzt Werte um 70  $\Omega m$ , die axiale Probe 50 bis 60  $\Omega m$ .

Beide Proben besitzen ein Phasenmaximum bei etwa 10 Hz, unterscheiden sich aber in der Amplitude. Das Maximum der radialen Probe erreicht mit 70 mrad einen etwa um das Vierfache höheren Wert als das Maximum der axialen Probe. Außer diesem Maximum erreichen die Phasen der axialen Eschenprobe nur Werte unterhalb 10 mrad. Nur unterhalb 0,01 Hz sinken die Werte der radialen Probe unter 10 mrad.

### Feldmessung

Motiviert durch die Laboruntersuchungen, folgte im August 2001 eine Feldmessung im Federseemoor. Das Federseemoor, etwa 50 km nördlich des Bodensees und etwa 10 km östlich der Donau, gilt als eines der bedeutendsten Fundgebiete für die Pfahlbauforschung. Die Pfahlbausiedlungen rund um den Federsee gelten als einzigartige Fundlandschaft Südwestdeutschlands. Siedlungsspuren fanden sich von der Mittelsteinzeit (ca. 5000 v. Chr.) bis in die Hallstattzeit (ca. 600 v. Chr.). Untersuchungsobjekt war der bronzezeitliche Bohlenweg, dem bereits Holzproben für Labormessungen entnommen wurden (Bild 5). ▶

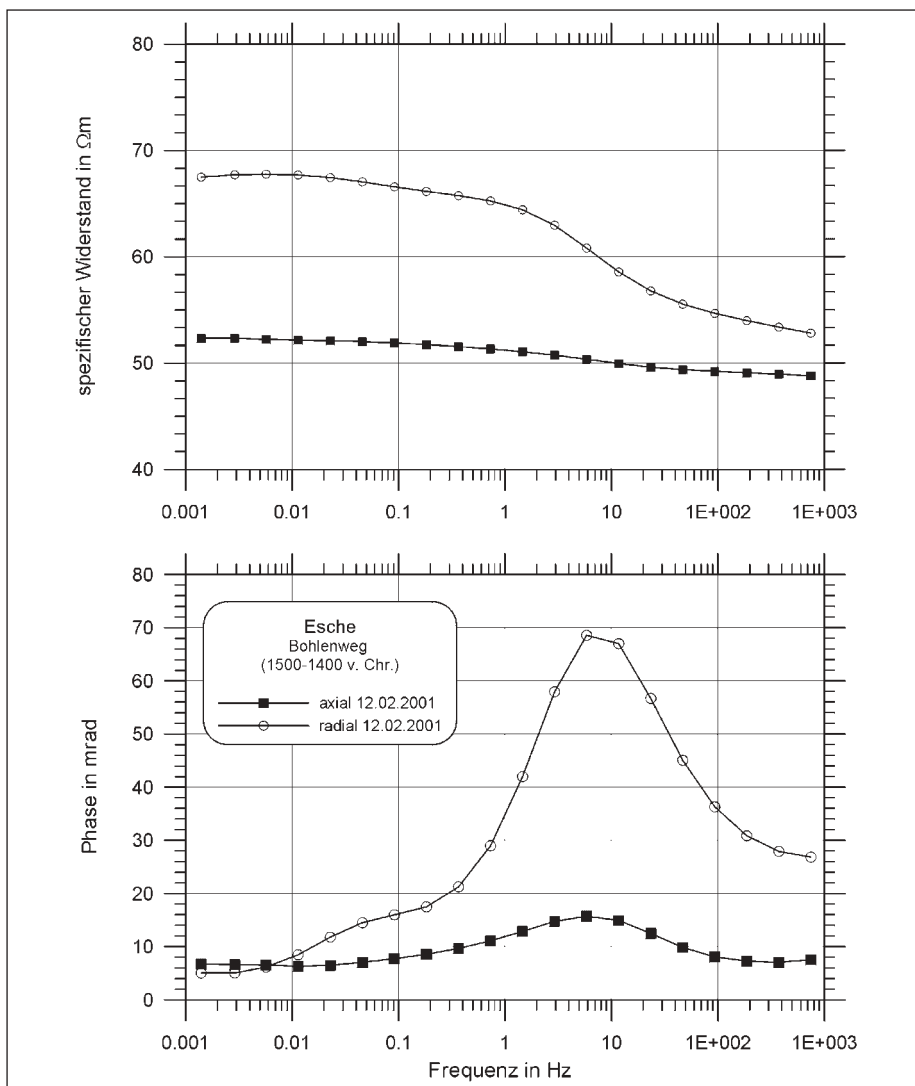


Bild 5: Spektren einer bronzezeitlichen Esche



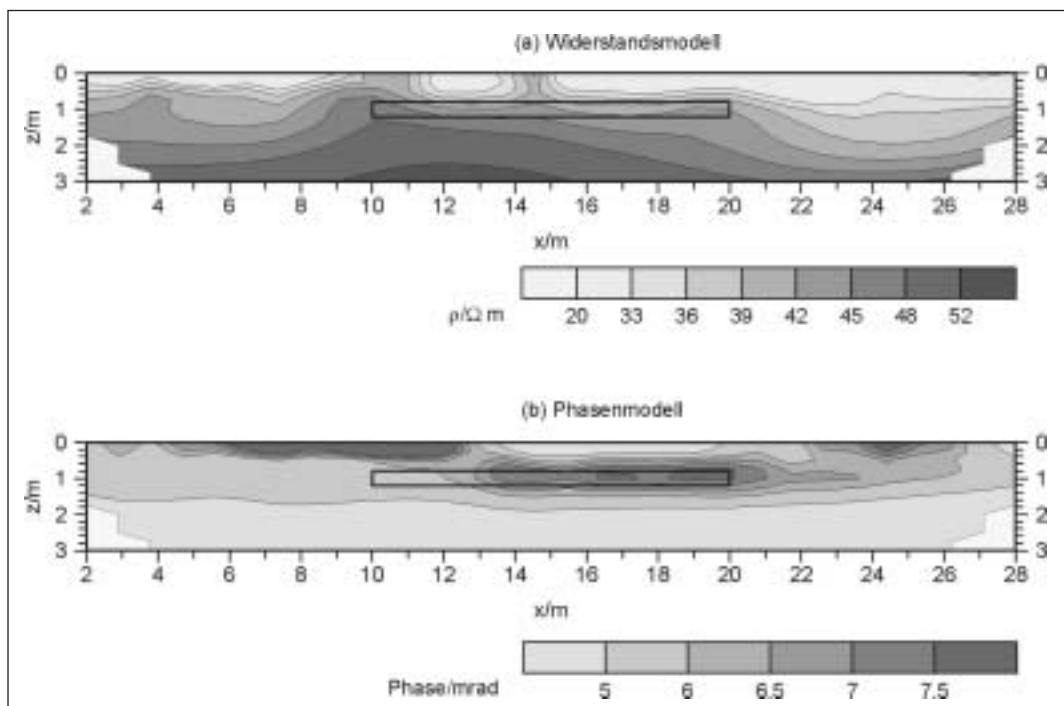


Bild 6: Ergebnis einer Profilmessung senkrecht zum Bohlenweg. Die vermutete Lage des Weges ist als Rechteck angedeutet.

Mit Hilfe dendrochronologischer Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass der Bohlenweg in Abständen von etwa 50 Jahren zweimal erweitert wurde, bis er eine Breite von etwa 9 m besaß. Der südlichste und älteste Abschnitt des Bohlenwegs besteht hauptsächlich aus Erlenholz und wurde stellenweise mit Buchenholz ausgebessert. Insgesamt setzt sich der Bohlenweg aus vier verschiedenen Holzarten zusammen: Buche, Erle, Esche und Birke. Der Bohlenweg ist heute von einer etwa 90 cm dicken Torfschicht bedeckt. An gut erhaltenen Stellen hat er eine Dicke von etwa 30 cm.

Basierend auf den Laborergebnissen (Bild 5) wurden 10 Frequenzen zwischen 1 und 60 Hz aufgezeichnet. Das Messprofil verlief senkrecht zur Laufrichtung des Bohlenwegs und hatte eine Länge von 30 m. Die Messelektroden waren im Abstand von 1 m angeordnet. Als Messapparatur wurde eine SIP-256 verwendet, die vom Institut für Meteorologie und Geophysik der J.W. Goethe-Universität in Frankfurt/M. zur Verfügung gestellt wurde.

**Bild 6** zeigt das resultierende Untergrundmodell der 5 Hz-Messung. Die vermutete Lage des Bohlenwegs ist als Rechteck angedeutet. Neben einer Zunahme der Widerstände mit der Tiefe ist ein Plateau zu erkennen, das mit der Lage des Bohlenwegs korreliert. Das Plateau ist ein indirekter Hinweis auf die verborgene archäologische Struktur. Im Gegensatz zum Widerstand ist der Bohlenweg im Phasenmodell deutlich zu erkennen. Die Anomalie mit Phasen von 7 bis 9 mrad liegt fast exakt im Bereich des Rechtecks und stimmt mit der vorhergesagten Position des Weges überein. Während die rechten, d.h. nördlichen beiden Bahnen zu sehen sind, fehlt die

älteste Bahn des Bohlenwegs im Phasenmodell. Vermutlich ist der schlechte Erhaltungszustand der ältesten Fahrbahn für das Verschwinden im Phasenmodell verantwortlich.

Das vorliegende Ergebnis bestätigt die Laborergebnisse. Es konnte erstmals gezeigt werden, dass sich die spektrale Induzierte Polarisation zur Prospektion von Holzobjekten eignet. Während der Bohlenweg in der Widerstandsmessung nur indirekt erfasst wird, stimmen Lage und Ausdehnung des Objekts im Phasenmodell mit den Angaben der Archäologen überein.

### Zusammenfassung

Die präsentierten Ergebnisse zeigen, dass die Spektren des komplexen Widerstands je nach Alter und Art des Holzes stark variieren können. Am Beispiel des Eichenbalkens aus der Marktkirche konnte nachgewiesen werden, dass sich die Phasenwerte der 92- und 46 mHz-Messung mit dem radialen Abstand von der Baummitte korrelieren lassen, während dies mit den spezifischen Widerständen nicht gelang. Eine Erklärung für diese Korrelation ist die abnehmende Breite der Jahrringe mit zunehmendem Radialabstand.

Archäologische und rezente Proben der gleichen Holzarten besitzen trotz Fälldaten, die mehr als 3000 Jahre auseinanderliegen, einen ähnlichen charakteristischen Verlauf der Phasenspektren. Neben der Kiefer besitzen auch Buche, Eiche und Weide vergleichbare Spektren. Andererseits kann bei unseren Untersuchungen im Labor auch beobachtet werden, dass Spektren signifikant voneinander abweichen, obwohl die Proben aus dem gleichen Holzstück entnom-

men wurden. Grundsätzlich besitzen Hölzer aus Moorböden geringere Widerstandswerte als wassergesättigte rezente Proben.

Eine ausgeprägte Anisotropie in den Phasen- und Widerstandsspektren konnte nachgewiesen werden. Es lassen sich axiale und radiale Proben aufgrund ihrer Spektren unterscheiden. Die Widerstände der axialen liegen dabei in der Regel unterhalb der Werte der radialen Probe. Diese ausgeprägte Anisotropie der Hölzer lässt sich vermutlich mit der Versorgung der Bäume über die Wurzeln erklären. Diese Versorgung verläuft in axialer Richtung, was eine höhere Durchlässigkeit und damit auch elektrische Leitfähigkeit in dieser Richtung bedingt. Die Labormessungen bildeten die Grundlage für die erste Anwendung der Methode zum Auffinden von Holzobjekten. Entscheidend für den Erfolg der Feldmessung war, dass

die Messfrequenzen mit den größten Phaseneffekten durch die Voruntersuchungen im Labor bekannt waren.

### Schlussfolgerungen und Ausblick

Eine grundlegende Erkenntnis unserer Untersuchungen ist, dass Holz polarisierbar ist und zwar unabhängig von Art und Alter. Die spektrale Induzierte Polarisation bietet sich damit als Methode zum Auffinden von Holzobjekten an. Tatsächlich gelang es, einen bronzezeitlichen Bohlenweg mit Hilfe der SIP zu prospektieren. Dies ist ein weiterer Schritt auf dem Weg, die SIP in der archäologischen Prospektion zu etablieren. Noch ist die Anzahl von bislang 51 untersuchten Holzproben gering, jedoch zeigt sich bereits jetzt, dass jede Holzart ein charakteristisches Phasenspektrum besitzt. Ein weiteres interessantes Ergebnis ist die Korrelation der Phasenwerte mit dem Abstand von der Baummitte. Dieses Ergebnis muss jedoch durch Messungen an weiteren Baumscheiben bestätigt werden. Für das grundlegende Verständnis der auftretenden Effekte und für die Erschließung weiterer Anwendungsmöglichkeiten der Methode wird die Zusammenarbeit mit Holzfachleuten und Botanikern angestrebt.

Dipl.-Geophys. Norbert Schleifer  
Institut für Geophysik  
Arnold-Sommerfeld-Straße 1  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Tel.: 05323/72-2734  
Fax: 05323/72-2320  
E-Mail: [norbert.schleifer@tu-clausthal.de](mailto:norbert.schleifer@tu-clausthal.de)  
<http://www.ifg.tu-clausthal.de>

# Sicherung und Sanierung von Tagebaukippen

Entwicklung eines neuen Verfahrens

Von Hossein Tudeshki und Thomas Hardebusch

Eine wichtige Aufgabe bei der Lösung von grundbautechnischen und bodenmechanischen Problemen ist die Verdichtung von bindigem und nicht bindigem Verdichtungsgut. In dieses Arbeitsgebiet fallen künstlich ebenso wie natürlich abgelagerte Materialien, also Böden auf Kippen, Halden, Böschungen, Dämmen, Depo- nien und auf Baugrund für infrastrukturelle Einrichtungen. Ein aktuelles Beispiel hierfür ist die Verdichtung setzungsfließgefährdeter Kip- pen und Kippenböschungen im Bereich der ehe- maligen Braunkohlentagebaue in den neuen Bundesländern.

Zur Lösung der oben genannten Problemstel- lungen wurde in der Vergangenheit eine Vielzahl von Möglichkeiten entwickelt, deren Anwend- barkeit vor allem von den physikalischen Eigen- schaften des Verdichtungsgutes wie Kornverteilung, Kornform, Lagerungsdichte und Wassergehalt sowie den geomechanischen und hydrologischen Randbedingungen des Gebietes und des Ver- dichtungszieles abhängt. In der Praxis werden insbesondere die Verfahren Sprengverdichtung, Rütteldruck bzw. Rüttelstopfverdichtung und dynamische Intensivverdichtung angewandt. In jüngerer Zeit wurde vom Autor ein weiteres Ver-

fahren, das so genannte Luft-Impulsverfahren patentiert. Bei diesem Verfahren wird die Ver- dichtung wassergesättigter, lockergelagerter Bö- den durch ferngesteuerte In-situ-Expansion von unter hohem Druck stehender Luft erzielt. Die Kombination des Verfahrens mit gesteuerten Horizontalbohrungen ermöglicht die Sicherung und Sanierung von ökologisch und/oder sicher- heitlich sensiblen Gebieten.

Eine weitere Verfahrensentwicklung stellt das vom Autor patentierte Verfahren der Pulsenden Verdrängung dar. Dieses neuartige Bodenver- dichtungsverfahren wurde ausgehend von den Grundlagen der Luft-Impulsverdichtung weiter- entwickelt, wobei die wesentlichen Verfahrensnachteile vermieden wurden.

## Verdichtungsverfahren – Stand der Technik

Verdichtungsverfahren zählen zu den Baugrund- verbesserungsmaßnahmen, die in der Regel auf eine bessere Standfestigkeit und Tragfähigkeit des Bodens als Grundlage für eine spätere Nut- zung abzielen. Die im Rahmen der Sanierung der setzungsfließgefährdeten Kippen anwendba- ren Verfahren sind in **Tabelle 1** aufgeführt. ▶

Anzeige

## Atlas Copco Bohrhämmer

### Kraftvoller, schneller, zuverlässiger, wirtschaftlicher: Der COP 1532

In seiner Gewichtsklasse ist der COP 1532 ein besonders leistungsstarker hydraulischer Gesteinsbohrhammer für alle Bohranwendungen!

Durch ein neues Schlagwerksystem gelang eine extrem kurze Gesamtkonstruktion.

Die Schlagleistung und die Frequenz können separat eingeregelt werden - so ist es möglich, das Schlagwerk optimal auf die jeweiligen Bohrbedingungen und geologischen Formationen ein- zurichten.

Durch das hydraulische Doppelschlag-Dämpfsystem wird der Bohrhämmer bestens vor der Reflexenergie geschützt - das Doppeldämpfungssystem wirkt sich darüber hinaus selbst bei hoher Bohrleistung bohrstahlschonend aus.

Der modulare Aufbau des Bohrhammers vereinfacht Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten wesentlich.

Mehr Informationen erhalten Sie direkt bei Atlas Copco.



#### Atlas Copco MCT GmbH

Langemarckstraße 35 D-45141 Essen  
Tel. (0201) 2177-300 Fax (0201) 2177-337  
www.atlascopco.de mdeinfo@atlascopco.com

Verfahren	Einsatzbereich
Sprengverdichtung	wassergesättigte Kippen
Rütteldruckverdichtung (RDV)	wassergesättigte Kippen Feinkornanteil < 15%
Rüttelstopfverdichtung (RSV)	wenn RDV nicht möglich
Dynamische Intensivverdichtung	oberflächennah
Luft-Impulsverfahren	wassergesättigte Kippen

Tabelle 1: Verdichtungsverfahren und Einsatzbereiche

Die Zielsetzung bei den Verdichtungsmaßnahmen auf verflüssigungsfähigen Kippen lautet Beseitigung des Gefährdungspotentials für ein Setzungsfließen. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass die durch den Bergbau in Anspruch genommenen Flächen aus der Bergaufsicht entlassen und für eine gefahrlose Nutzung der Öffentlichkeit zurückgegeben werden können.

Die bei der Sicherung der Kippen zu erzielenden Lagerungsdichten nach Beendigung der Verdichtungsarbeiten liegen deutlich unterhalb der in der Bauindustrie für Gründungen zu erreichenden Lagerungsdichten. Die Überprüfung des Dichtezuwachses im Boden erfolgt vor und nach der Verdichtung in erster Linie durch Drukksondierungen, bei denen zum Eindringen eines Stabes mit definierten Maßen in den Boden die erforderliche Kraft gemessen wird. Typische Spitzenwiderstandswerte für ausreichend verfestigte Kippen liegen im Bereich von 10 bis 20 MPa, abhängig von Verdichtungsgut und Teufe.

## Konzept des Verfahrens „pulsende Verdrängung“

Das Verfahren „Pulsende Verdrängung“ soll vor allem im Interesse einer technischen und wirtschaftlichen Optimierung der Sicherung von setzungsfließgefährdeten Kippen und Sanierungsaufgaben des deutschen Braunkohlenbergbaus eine zusätzliche Verfahrensalternative bieten.

Die Ziele der Verfahrensentwicklung wurden aus der Analyse der Eigenschaften der bisher eingesetzten Verdichtungsverfahren abgeleitet. Die Aufgabe der neuen Entwicklung ist es, ein Verfahren zur Verdichtung zu entwickeln, bei dem die notwendige Verdichtungsenergie ferngesteuert und dosierbar in den Untergrund eingeleitet werden kann.

Die Arbeitsweise des neuen Verfahrens beruht auf der stoßartigen, periodischen Expansion und Kontraktion (Pulsieren) eines elastischen Körpers in dem Verdichtungsgut [Patentschrift P 100 07 707.2]. Das Pulsieren wird dadurch erreicht, dass in einen fluidgefüllten, elastischen Körper eine definierte Menge zusätzlichen Fluids schlagartig eingebracht wird. Die Verdrängung bzw. Beschleunigung der Masse übt einen Stoß auf die elastische Wand des Körpers aus. Die Wand gibt den Stoß an das Verdichtungsgut weiter und expandiert. Nach Erreichen der maximalen Ausdehnung des elastischen Körpers kehrt dieser wieder in seine Ausgangslage zurück. Die Pulsation kann somit stets mit derselben Menge Fluid erzeugt werden. Der zyklische Vorgang wird wiederholt, wobei die Frequenz in Abhängigkeit der bodenmechanischen Gegebenheiten gesteuert werden kann. Dabei führt die periodische Überlagerung der Effekte Stoß, Expansion und Kontraktion zu einer Verdichtung des Gutes.

## Laborversuche (Phase 1)

Zur Überprüfung der Wirksamkeit des Verdichtungsverfahrens wurden einige Laborversuche mit einer ausgewählten Variante des Impulsgebers, dem sog. „water gun“, durchgeführt, der in seiner Arbeitsweise dem bei der Luft-Impulsverdichtung eingesetzten „air gun“ sehr ähnlich ist und wie dieses ebenfalls in der Geophysik in der Meeresseismik eingesetzt wird. Die Vorgabe, ein geschlossenes System zu erreichen, wurde dadurch gelöst, dass der Ansaug- bzw. Auslasstrakt des „water gun“ durch einen Schlauch abgeschlossen wird. Dieser Schlauch ist durch einen metallischen Stopfen in seiner Länge variierbar, und somit ist das Verhältnis zwischen der festen Kammer (Zylinderraum) und der elastischen Kammer (Schlauch) einstellbar. Das gesamte System besteht somit aus einem wassergefüllten Zylinder und einem pneumatisch betriebenen Kolben, der eine definierte Wassermenge innerhalb weniger Millisekunden axial in einen wassergefüllten Schlauch verdrängt. Durch die zylindrische Form des elastischen

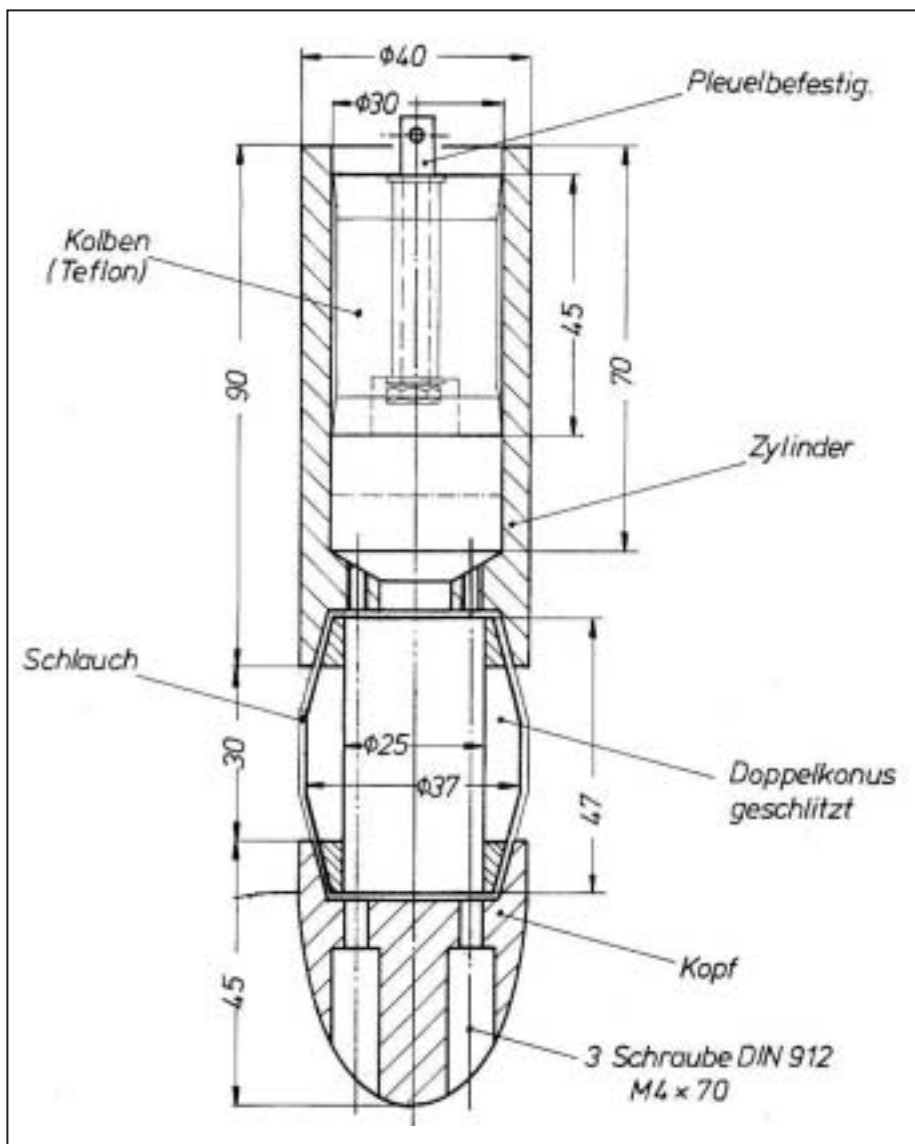


Bild 1: Schwingkolbenverdichter, Prototyp

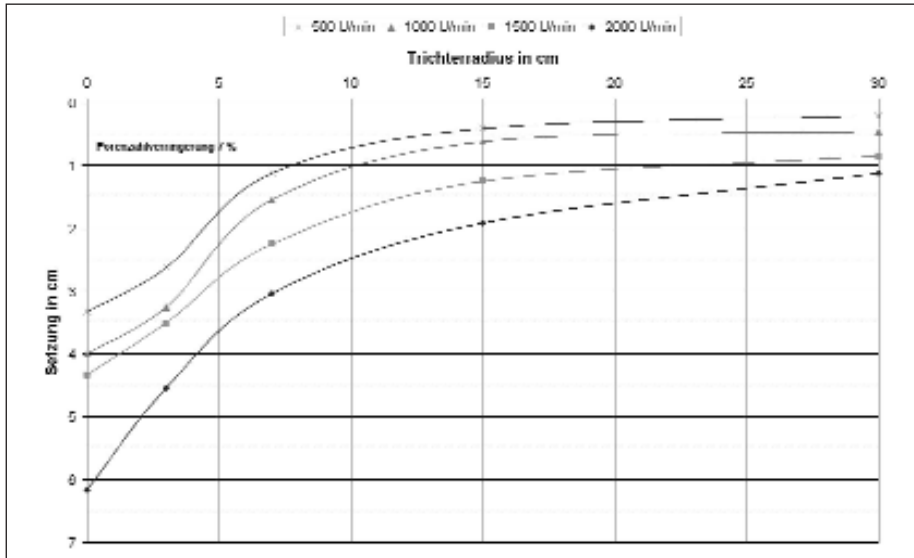


Bild 2: Versuchsauswertung, kurze Membran

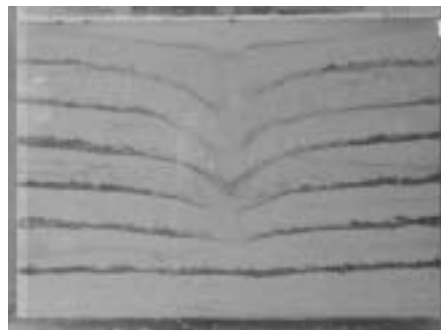
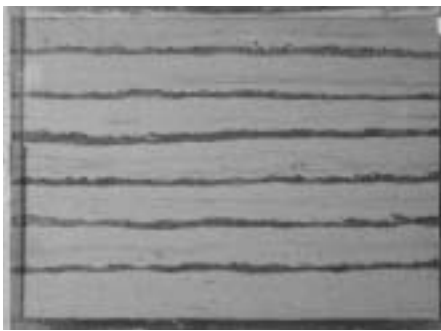


Bild 3: Visualisierung des Verdichtungseffektes bei einer wandnahen Verdichtung



Bild 4: Pulsator mit Doppelmembran

Körpers wird ein radialer Stoß in das Verdichtungsgut eingeleitet.

Bei dem Versuchssand handelt es sich um einen sehr eng gestuften Boden mit einem überwiegenden Kornanteil (64 %) im Bereich des Mittelsandes. Die geomechanischen Klassifikationsversuche und Triaxialversuche zur Bestimmung der Abhängigkeit des Reibungswinkels vom Porenanteil des Versuchsmaterials wurden durch die Lausitzer Bergbau-AG, Abteilung Bodenmechanik, durchgeführt. Der ausgewählte Versuchssand verfügt in jeder Hinsicht über die Eigenschaften setzungsfließgefährdeter Böden. Sein Scherverhalten im triaxialen Mehrstufenversuch unter undrainierten Bedingungen zeigt, dass bei lockerer Lagerung eine hohe Setzungsfließgefährdung gegeben ist.

Zur realitätsnahen Simulation der Bedingungen einer Abraumkippe eines Braunkohlentagebaus wurde dieser Sand für die nachfolgend beschriebenen Laborversuche vorsichtig in die jeweiligen Versuchskästen eingebracht. Dadurch konnte eine lockere Lagerung mit einem Porenvolumen von ca. 41 % bis 44 % im wassergesättigten Zustand erreicht werden.

Sowohl für wassergesättigten als auch für

trockenen Sand ergeben sich sehr gute Verdichtungsergebnisse. Es ist dabei festzustellen, dass in wassergesättigtem Verdichtungsgut ein großes und im trockenen Sand ein kleines Verhältnis zwischen fester und elastischer Kammer die beste Wirkung zeigen. Dies zeugt von den unterschiedlichen Prinzipien der Verdichtung, die in Abhängigkeit des Wassergehaltes wirksam werden:

- Im wassergesättigten Sand fungiert das Porenwasser als Übertragungsmedium der Stoßwelle, die zu einem weiträumigen Zusammenbruch des Korngefüges führt. Die maximale Verdichtung wird bereits nach wenigen aufeinanderfolgenden Einzelpulsen erreicht.
- Die Verdichtung des trockenen Sandes wird durch die direkte Einwirkung der elastischen Wand des Impulsgebers auf das Korngefüge erreicht, wobei durch die Expansion der elastischen Kammer der umgebende Sand verdrängt wird. Dies führt zu einer sehr starken Verfestigung im Nahfeld der Pulsation. Bei Erreichen der maximalen horizontalen Reichweite der Verdichtung setzt eine vertikale Partikelbewegung ein, die durch eine Aufwölbung der Sandoberfläche gekennzeichnet ist.

Das Verfahren ist für die Verdichtung von lockerem Sand geeignet, wobei die Verdichtung von wassergesättigtem und trockenem Sand möglich ist. Die Stärke und die Reichweite der Verdichtung hängen sowohl von der Höhe des Arbeitsdruckes als auch von der wirksamen Fläche des elastischen Körpers ab. Eine Mehrfach-Pulsation an derselben Stelle erhöht den Verdichtungsgrad.

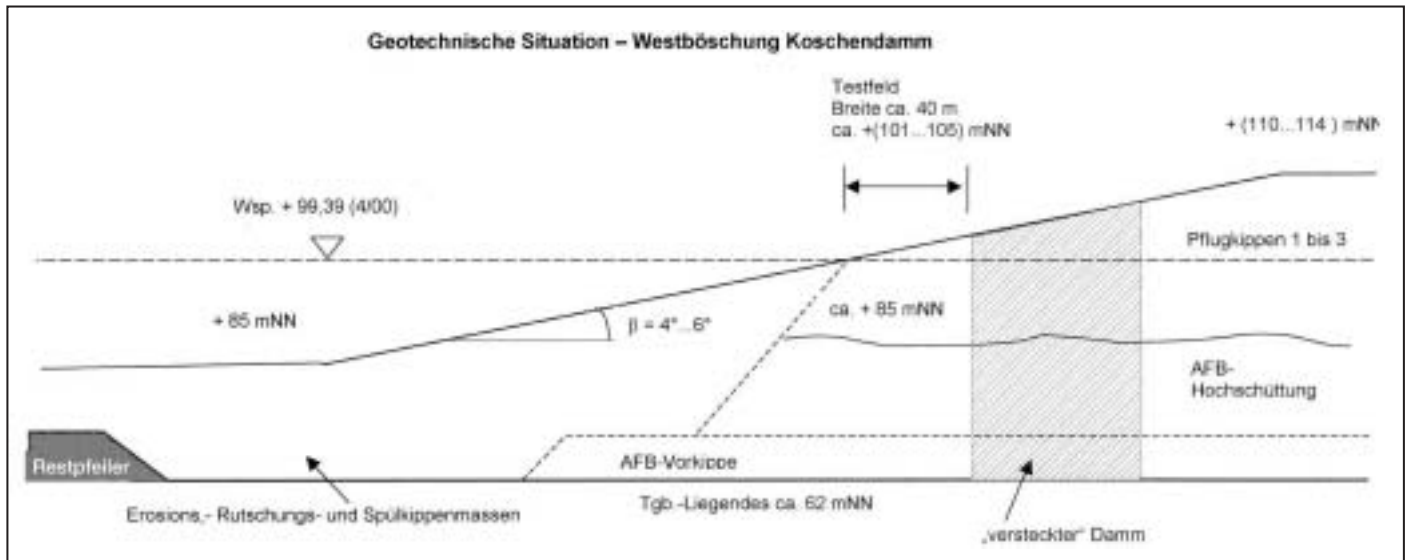
## Laborversuche (Phase 2)

Im Rahmen der ersten Versuchsphase war die Pulsation in Form von Einzelpulsen mit ca. 5 Sekunden zeitlichem Abstand vorgenommen worden. Der bodenmechanischen Erkenntnis Rechnung tragend, wonach die größte Verdichtung eines lockergelagerten, nicht bindigen Bodens durch zyklische Scherung mit geringer Amplitude zu erreichen ist, wurden weitere Laborversuche konzipiert. Dabei sollte mittels eines Prototyps die Frequenzabhängigkeit der Verdichtung getestet werden.

## Versuchsanordnung

Der neue Prototyp, im Folgenden als Schwingkolbenverdichter bezeichnet, besitzt einen drehzahlsteuerbaren Antrieb mit einer Leistung von 650 W. Über einen Exzenter und einen Pleuel von ca. 500 mm Länge wird ein Teflon-Kolben angetrieben, der einen Hub von 10 mm erreicht. Unterhalb des Zylinders befindet sich die Gummimembran, die über einen doppelkonischen Käfig gezogen ist (Bild 1).





**Bild 5: Testgelände**

In dieser Konfiguration wird ein in den Expansionskörper verdrängtes Volumen von ca. 7 cm<sup>3</sup> erreicht. Während des Betriebes verdrängt der Kolben zyklisch dieses Wasservolumen aus dem Zylinder, so dass sich eine radiale Dehnung der Gummimembran ergibt.

Zur Simulation des Einfahrvorganges in den Boden kann der Schwingkolbenverdichter vertikal verfahren werden. Weiterhin ist die gesamte Pulsationseinrichtung auf einem schweren Stahlträger montiert, der zur Dämpfung der konstruktionsbedingten Eigenschwingungen des Systems dient.

Der Versuchskasten wurde zur Sichtbarmachung der Verdichtungseffekte aus Plexiglas hergestellt und besitzt die Abmessungen eines Würfels mit 500 mm Kantenlänge. Als Versuchs-

material wurde der bereits bei den vorherigen Versuchsreihen benutzte Sand eingesetzt.

Ebenso wie in der ersten Versuchsphase sollte auch mittels des Schwingkolbenverdichters der Einfluss der Membranlänge auf die Verdichtungsleistung untersucht werden. Daher wurden neben der Schwingungsfrequenz auch drei unterschiedlich lange Membranen mit Längen von 16 mm, 26 mm und 46 mm eingesetzt.

Unter Berücksichtigung im Großmaßstab technisch realisierbarer Drehzahlen bzw. Frequenzen wurden für die Versuchsdurchführung Drehzahlen von 500 U/min bis 2000 U/min, entsprechend 8,33 Hz bis 33,33 Hz, untersucht.

Der Schwingkolbenverdichter wurde mit einer geringen Drehzahl in den Versuchsstand eingefahren. Die Verdichtung erfolgte auf zwei Ebenen für die Dauer von jeweils 45 Sekunden. Vor der Auswertung der Versuche wurde eine kurze Wartezeit eingehalten, um eine Bodenberuhigung zu ermöglichen.

Im Rahmen der Auswertung wurde der Absenkungstrichter vermessen, um eine Reichweitenbestimmung in Abhängigkeit der Parameter Frequenz und Membranlänge zu erreichen.

### Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die effektive Reichweite der Verdichtung sehr stark sowohl von der Membranlänge als auch der Frequenz abhängig ist. Bei jeder der drei Membranlängen wurde mit Zunahme der Frequenz eine höhere Reichweite der Verdichtung erreicht. Parallel dazu wurde beim Vergleich der Membranlängen für konstante Frequenzen festgestellt, dass die kurze Membran die größte Verdichtungsreichweite erzielt.

Insgesamt wird in der Verbindung von kurzer Membran mit hoher Frequenz das beste Ergebnis der Verdichtung erreicht. Dies betrifft sowohl

die horizontale als auch die vertikale Verdichtungsreichweite (**Bild 2**).

Zur Visualisierung der Verdichtungseffekte wurde eine Reihe von Versuchen nahe der Außenwand des Versuchskastens durchgeführt. Die Besonderheit war dabei, dass eine Schichtung des Sandes durch das Einbringen von sechs ca. 1 cm dicken, schwarzen Trennschichten aus Granulat präpariert wurde.

Bei der anschließenden Versuchsdurchführung zeigten sich bereits bei geringen Frequenzen starke Fließbewegungen, die im Nahfeld der Membran Konvektionsströmen glichen. Mit Zunahme der Frequenz war dieser Effekt nicht mehr erkennbar, aber es wurde eine deutliche Zunahme der Umlagerungs- und Separationsvorgänge beobachtet. **Bild 3** zeigt den Versuchskasten vor und nach der Versuchsdurchführung.

Die Versuche mit dem Schwingkolbenverdichter zeigten, dass das periodische, hochfrequente Einbringen von Scherkräften zu einer Erhöhung der Verdichtungsleistung gegenüber den statischen Einzelimpulsen der Versuchsphase 1 erzielt.

### Feldversuch

Im Rahmen eines Feldversuches sollten die Wirksamkeit und das Anwendungsspektrum des Verfahrens „Pulsende Verdrängung“ im Rahmen der Sicherung setzungsfließgefährdeter Böschungen sowohl aus technischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht getestet werden. Das Untersuchungsprogramm orientierte sich an den im Laboratorium erzielten Ergebnissen, wobei insbesondere die abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten aus den Modellversuchen und die Erfahrungen mit dem Prototyp herangezogen werden.

Der Feldversuch wurde in enger Zusammenarbeit mit und in Abstimmung zwischen den beteiligten Partnern, dem Auftraggeber Lausitzer ▶



**Bild 6: Trichtervermessung**



und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft (LMBV) mbH, dem zuständigen Bergamt und den durchführenden Firmen Meyer & John GmbH & Co. und Bergbausanierung und Landschaftsgegestaltung (BUL) Sachsen GmbH projektiert.

## Schwingkolbenverdichter – Prototyp

Erste Voraussetzungen für den Feldtest bilden die Entwicklung eines technisch realisierbaren Verdichtungsgerätes und die anschließende Konstruktion eines Verdichter-Prototyps. Als Weiterentwicklung des Verdichtungsgerätes für die Laborversuche wurde für den Feldtest ein Verdichter mit einem doppeltwirkenden Kolben und zwei Membranen vorgesehen (**Bild 4**). Zusammengefasst verfügt die Vorrichtung über folgenden technische Daten:

- Länge ca. 6 m
- Außendurchmesser ca. 400 mm
- Kolbendurchmesser 200 mm
- Kolbenhub 100 mm
- Frequenz regelbar bis 16,67 Hz
- Motorleistung 130 kW
- Membranlänge veränderlich von 200 bis 400 mm
- Verdrängungsmedium in Zylinder und Membranen: Wasser
- Verdrängungsvolumen ca. 3,14 l
- Unterstützungsmedium beim Versenken: Wasser und/oder Luft

Weiterhin ist das neue System mit der Infrastruktur der Baustelle zu verbinden, die in weiten Teilen aus den Elementen der Baustellen der Rütteldruckverdichtung besteht:

- Versenkungslanze, Länge ca. 40 m
- Raupenkran Liebherr LR 1550, 72 m Auslegerlänge, ca. 500 t Eigengewicht
- Spülungs- und Stromleitungen

## Versuchsgelände

Der Feldversuch fand 2001 auf einer Abraumkippe im Lausitzer Braunkohlenrevier, nahe Senftenberg, statt. Das Testgelände auf dem Koschendam, der die Restseen der Tagebaue Skado und Koschen trennt, ist in **Bild 5** dargestellt. Es befindet sich im Vorland eines bereits erstellten versteckten Dammes. Die zu bearbeitende Kippe setzt sich aus der Hoch- und Tiefkippe einer Abraumförderbrücke und den darüber befindlichen drei Spülkippen zusammen; ihre Mächtigkeit liegt bei ca. 41 bis 43 m. Der ursprüngliche Böschungswinkel hat sich durch Erosions- und Rutschungsvorgänge auf einen Wert von 4 bis 6° verringert. Der See- bzw. Grundwasserspiegel befindet sich etwa 5 m unterhalb der Oberfläche.

## Versuchsdurchführung und -auswertung

Das zweiphasige Untersuchungsprogramm sowie das Kontroll- und Messprogramm ist in

enger Verbindung mit der LMBV mbH erarbeitet worden. In der ersten Phase sollten verschiedene Möglichkeiten für das Versenken des Verdichters in den Kippenkörper untersucht werden. Nach Auswahl einer geeigneten Methode waren in Phase 2 aufwändige Versuchsreihen zur Bestimmung der Verdichtungsleistung in Abhängigkeit der Variablen Frequenz, Verdichtungsdauer und Membranlänge vorgesehen.

Bei allen Versuchen traten erhebliche Probleme beim Versenken der Lanze in den Untergrund auf. Es wurden kaum größere Tiefen als ca. 10 m erreicht. Dies ist durch eine Reihe verschiedener Faktoren verursacht worden, die nachstehend erläutert werden.

Das Versenken der Lanze wurde durch Wurzelwerk und sehr standfeste erdfeuchte Deckschichten erheblich behindert. Vor allem eine bindige Schicht, die über die gesamte Testfläche in einer Teufe von 10 m mit rund 6 m Mächtigkeit anstand, stellte ein schweres Hindernis dar. Weiterhin befand sich das Versuchsfeld im Einwirkungsbereich der bereits durchgeführten Verdichtungsarbeiten zur Erstellung des versteckten Dammes, so dass von einer bereits vorhandenen Vorverdichtung des Bodens ausgegangen werden konnte. Generell erwies sich der Untergrund als ungeeignet für die Durchführung eines Feldversuches zur Überprüfung der prinzipiellen Einsetzbarkeit eines neuen Verfahrens.

Technologische Probleme beim Versenken resultierten vorwiegend aus der verbauten äußeren Kontur der Prototyps, die dem statischen Eindringen des Verdichters unter der Einwirkung der Auflast von max. rund 17 t entgegenwirkt, da an den abstehenden Bauteilen der Eindringwiderstand sehr stark zunimmt. Weiterhin wurde durch den unregelmäßigen Außendurchmesser ein stetiger Spülungskreislauf mit abschließendem Austrag des Materials behindert und somit das Sedimentieren des „Bohrkleins“ gefördert.

Es wurden zahlreiche Optimierungen des Spülungssystems vorgenommen, die allerdings nicht zu den erhofften Ergebnissen führten. Der Einsatz einer in die Pulsatorspitze integrierten Erdrakete hat ebenfalls nur bedingt zu Verbesserungen beim Versenken geführt, da das Durchdringen der bindigen Schicht auch mit diesem System nicht erreicht wurde.

Die Überprüfung der Verdichtungsleistung konnte nur eingeschränkt erfolgen. Gründe sind neben der Versenkungsproblematik auch in der Standfestigkeit des Schwingkolbenverdichters zu erkennen. Probleme bereiteten die sichere Befestigung der Membranen sowie die Standfestigkeit der mechanischen Bauteile des Gerätes. Insbesondere die Kupplung und das Getriebe wiesen nach kurzer Einsatzzeit Defekte auf, die einen erheblichen Reparaturaufwand erforderlich machten.

Insgesamt sind durch Drucksondierungen keine direkt messbaren Verdichtungsergebnisse erzielt worden. Aus den spürbar eingeleiteten

Erschütterungen in den Untergrund, den zeitweise messbaren Erhöhungen des Porenwasserdrucks und den Volumina der erzielten Absenkungstrichter kann jedoch gefolgert werden, dass eine Bodenverdichtung im Nahfeld der Pulsationen erreicht wurde (**Bild 6**).

## Ausblick

Aus den Erfahrungen der Laborversuche und des Feldversuchs kann eine Reihe von Optimierungsansätzen für das System der Pulsenden Verdrängung abgeleitet werden:

- Zur Reduzierung des Eindringwiderstandes sollte der Verdichter einen geringeren Durchmesser, eine möglichst glatte Oberfläche und eine optimierte Spitze besitzen.
- Die Leistungsfähigkeit des Spülungssystems sollte erhöht werden und sich z.B. an der Horizontalbohrtechnik orientieren.
- Eine evtl. notwendige Aktivierung des Versenkungsvorganges sollte im Bereich des schneidenden LöSENS (Drehbohrverfahren) gesucht werden.
- Ersetzen des anfälligen mechanischen Antriebs des Kolbens durch eine hydraulische Variante.

Die Entwicklungsarbeiten an dem Verdichtungsverfahren „Pulsende Verdrängung“ werden am Institut für Bergbau der TU Clausthal fortgeführt. Der Bau eines Prototyps mit hydraulischem Antrieb und die Durchführung von Laborversuchen erfolgt in diesem Jahr.

*Prof. Dr.-Ing. habil. H.H. Tudeschki*  
*Dipl.-Ing. T. Hardebusch*  
*Lehrstuhl Tagebau und Internationaler Bergbau*  
*Institut für Bergbau*  
*Erzstraße 20*  
*38678 Clausthal-Zellerfeld*  
*Tel.: 05323/72-2286 (Tudeschki)*  
*05323/72-3178 (Hardebusch)*  
*Fax: 05323/72-2377*

# Gase in Evaporiten

Wertvolle Aussagen für die Endlagerung von Abfällen in Salzlagerstätten

Von Michael Siemann, Friederike Funke, Joanna Potter und Mikhail Tsyupkov

In einem vom BMBF mit mehr als einer Million Euro geförderten Forschungsprojekt untersucht eine international zusammengesetzte Forschergruppe des Fachgebiets Mineralogie, Geochemie, Salzlagerstätten am Institut für Mineralogie und Mineralische Rohstoffe sogenannte mineralgebundene Gase in marinen Evaporiten (Daranter versteht man die Gesteine, die bei der Eindunstung von Meerwasser entstehen). Neben den Clausthalern Michael Siemann und Friederike Funke konnten Joanna Potter von der Kingston University in London sowie Mikhail Tsyupkov von der Russischen Akademie für Wissenschaften in Irkutsk für das Projekt gewonnen werden. Zum Stoffbestand mariner Evaporite gehören neben festen Phasen (Minerale, Gesteine) und Flüssigkeiten (salinare Lösungen und Kondensate) auch Gase. Hierin unterscheiden sich die in verschiedenen Epochen in der geologischen Vergangenheit gebildeten Salzlagerstätten (seit etwa 650 Ma) nicht oder nur wenig. Die meisten Untersuchungen in Europa wurden hierbei an den Salzen des Oberperms (Zechstein) durchgeführt.

Allgemein können die Gase in Evaporiten hinsichtlich ihrer Fixierung in zwei Arten unterschieden werden: freie und mineralgebundene Gase. Die freien Gase sind auf Spalten oder Klüften gespeichert. In diesem Projekt werden dagegen die Herkunft und das Migrationsverhalten der natürlichen mineralgebundenen Gase in den marinen Evaporiten Norddeutschlands (Oberperm) untersucht. Hierbei wird zwischen den *interkristallin* auf den Mineralkorngrenzen gespeicherten Gasen, und den Gasen in den Einschlüssen (*intrakristallin*) unterschieden. Es besteht die Vermutung, dass die Migration der interkristallinen Gase hauptsächlich durch mechanische Vorgänge gesteuert ist, während die Gas-einschlüsse von diesen Einwirkungen unbeeinflusst sein sollten. Um diese Arbeitshypothese zu überprüfen, sollen Steinsalzproben aus drei Bohrungen von stratigraphisch vergleichbaren Zechsteineinheiten analysiert werden, die jedoch in der geologischen Vergangenheit unterschiedlich stark tektonisch beansprucht wurden (flache Lagerung-Salzkissen-Salzdom). Die chemische Zusammensetzung der mineralgebundenen Gase soll mittels der Raman-Laserspektroskopie (intrakristalline Gase) und der Gaschromatographie (interkristalline Gase) ermittelt werden. Genetische Aussagen an den Gasen sind jedoch nicht

allein durch die Bestimmung der Zusammensetzung der Gemische möglich. Es ist vielmehr notwendig, die Fraktionierung stabiler Isotope zu untersuchen.

## Bohrkerne aus unterschiedlichen Salzformationen

Insgesamt sollen etwa je 100 Proben aus drei Bohrungen untersucht werden, die in stratigraphisch vergleichbaren Einheiten niedergebracht werden sollen, jedoch in der geologischen Vergangenheit deutlich unterschiedlicher tektonischer Beanspruchung ausgesetzt waren. Als mögliche Ursachen für die Mobilisierung eingeschlossener Gase wird eine mechanische Beanspruchung der Salze angenommen. Ein Beispiel dafür wäre die Bildung eines Salzstocks oder -doms aus flach gelagerten Schichten. Die Bohrung in der flachen Lagerung ist bereits erfolgt, weitere in einem stark verfalteten Salzstock sowie in einer mittelmäßig beanspruchten Formation im Zechstein-Salinar sind vorgesehen. Bei der Analyse der ersten Bohrung wird die Vorgehensweise optimiert und kritisch überprüft. Die Proben stammen aus dem Zechstein 2 (Staßfurt-Folge), da von dieser stratigraphischen Einheit eine Bromidverteilung bekannt ist, die auf eine weitgehend ungestörte Eindunstung von Meerwasser zurückgeführt werden kann. Erwartungsgemäß ist daher in den Proben dieser Bohrung eine ideale, ungestörte Brom-Kurve für das

Steinsalz gefunden worden. Im linken Teil von **Bild 1** ist eine typische Probe aus der untersuchten Salzabfolge zu sehen, die dunkleren Partien enthalten deutlich mehr Anhydrit ( $\text{CaSO}_4$ ) als die helle Region in der Mitte. Im rechten Teil ist ein ideal ausgebildeter Halitkristall ( $\text{NaCl}$ ) im Steinsalz zu sehen. Auf den Flächen des Kristalls sind wenige  $\mu\text{m}$  große Einschlüsse von Gas und Flüssigkeit erkennbar, die im Forschungsprojekt analysiert werden.

## Untersuchungsmethoden

Die zu untersuchenden Proben werden einem komplexen Untersuchungsschema unterzogen, welches in seinem Ablauf in **Bild 2** schematisch dargestellt ist. Es wird deutlich, dass für die angestrebten Aussagen eine Vielzahl analytischer Methoden und Geräte notwendig ist, die selbstverständlich auch eine entsprechende Anzahl von Bearbeitern voraussetzt. Auf die in **Bild 2** genannten Methoden wird im folgenden einzeln eingegangen.

## Mineralogische und chemische Untersuchungen

Um Gase in Evaporiten interpretieren zu können, müssen natürlich nicht nur diese allein, sondern auch das sogenannte Muttergestein genau untersucht werden. Dies geschieht mineralogisch mittels der sogenannten Pulver-Röntgendiffraktometrie. Ein kleiner Teil des Gesteins wird dabei zu einem Pulver zermahlen; sodann wird mittels der Röntgenbeugung ein Diffraktogramm aufgenommen, welches anschließend mit Diffraktogrammen bekannter Minerale verglichen wird.

Die quantitative Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der Gesteine ist dagegen etwas aufwändiger. Hierfür wird ein Teil des Gesteins in Wasser gelöst und anschließend mit dem Ionenchromatographen analysiert (**Bild 3**).

Die Besonderheit des von uns verwendeten ▶

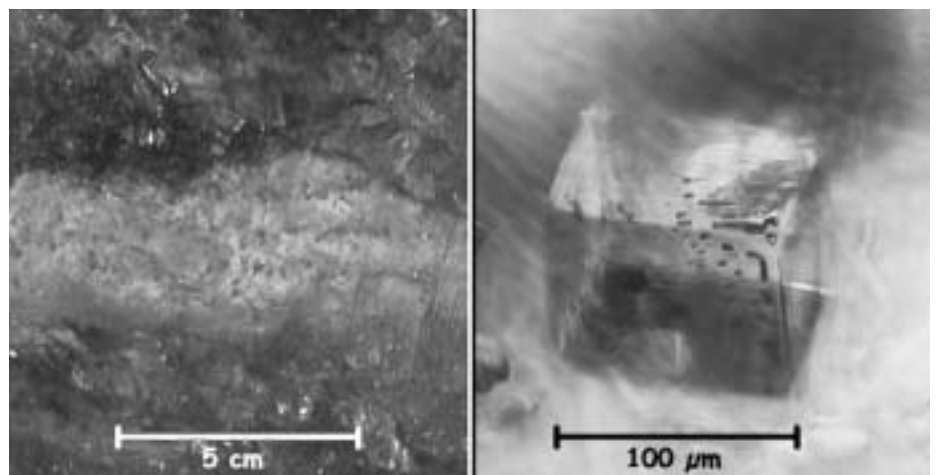
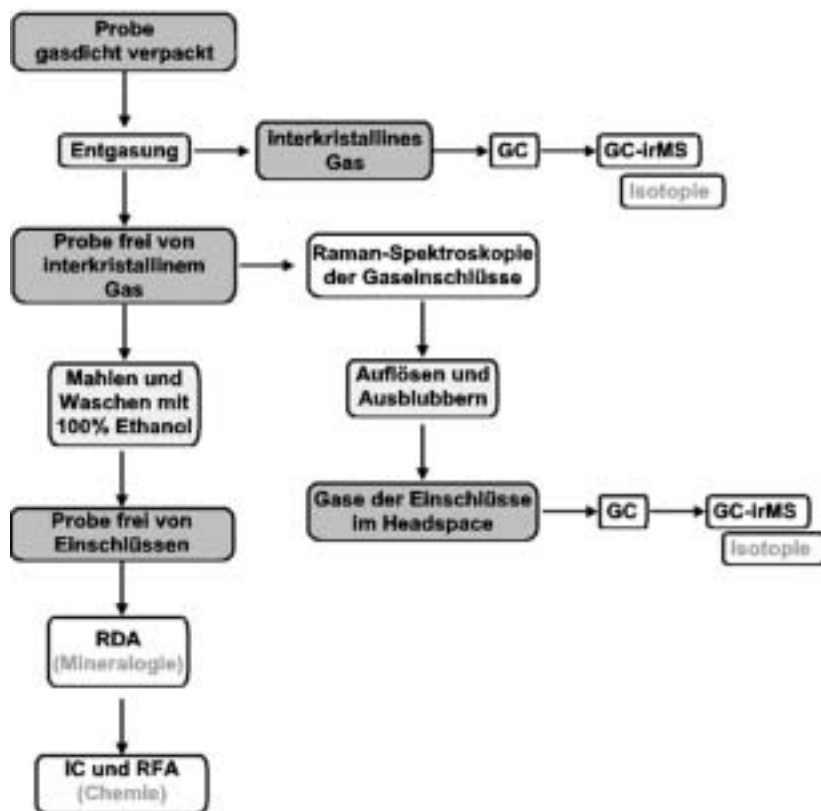


Bild 1: Vom Makroskopischen ins Mikroskopische

## Schema der Untersuchungen



**Ziel: Mineralogisch, chemisch und isotopisch vollständig charakterisierte Probe**

und weiterentwickelten Ionenchromatographen ist, dass er simultan auf zwei unabhängigen Säulen analysiert. Mit einer einzigen Injektion können also gleichzeitig die Anionen und Kationen bestimmt werden oder aber eine Doppelbestimmung des Broms gemacht werden. Das erspart 50 % der Analysenzeit, was bei einem Probenaufkommen von mehreren tausend Proben ein entscheidender Faktor ist.

### Untersuchungen der Gase

Die Gase auf den Korngrenzen zwischen einzelnen Mineralkörnern und die Gase in den Einschlüssen müssen natürlich getrennt voneinander untersucht werden. Hierzu wurde bei der ersten Bohrung im Kaliwerk Zielitz bei Magdeburg ein Teil der Proben (200 Proben von 250 Bohrmeter) vor Ort direkt nach Verlassen des Bohrlochs gasdicht in PVF-Folien eingeschweißt. Im Labor wurden die eingeschweißten Bohrkernstücke dann vorsichtig zerdrückt, so dass die Gase auf den Korngrenzen frei wurden, nicht jedoch die Gase in den Einschlüssen. Das Gas wurde dann über ein Septum entnommen und im Gaschromatographen mit Massenspektrometer zur Analyse von Isotopenverhältnissen (GC-irMS) analysiert (Bild 4). Hier bekommt man zwar auch eine Information über die chemische Zusammensetzung der Gase; in erster Linie jedoch werden diese Analysen durchgeführt, um die isotopische Zusammensetzung herauszubekommen. Die begrenzten Probenvolumina erforderten einen Umbau des Gerätes in Eigenarbeit. Letztendlich gelang es, eine Apparatur zu entwickeln, mit der die Messung der stabilen Isotope von  $H_2$ ,  $N_2$  und  $CH_4$  (C und H) aus einer einzelnen Probeninjektion möglich ist.

Nachdem die Gase auf den Korngrenzen analysiert sind, werden die Gase in den Einschlüssen untersucht. Die Größe der Einschlüsse variiert von wenigen  $\mu m$  bis hin zu 0,5 mm und grö-



Bild 3: Ionenchromatograph der Firma Metrohm zur simultanen Bestimmung der Anionen und Kationen oder zur simultanen Doppelbestimmung des Broms auf zwei unabhängigen Säulen



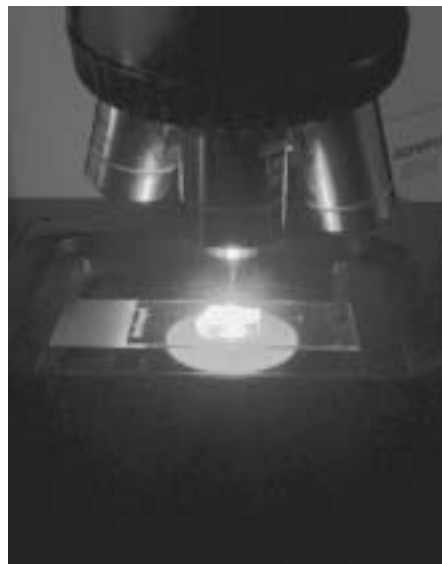
Bild 4: Gaschromatograph mit Massenspektrometer zur Analyse von Isotopenverhältnissen (GC-irMS)

ßer. Die hier zu untersuchenden Gaseinschlüsse haben in der Regel einen Durchmesser von weniger als 10 µm. Zunächst wird die quantitative Zusammensetzung der Einschlüsse hinsichtlich der Gase mittels eines Raman-Laserspektrometers analysiert. Bei unserem Gerät wird ein grüner, frequenzverdoppelter Nd-YAG-Laser verwendet, mit dem der Einschluss in der Probe bestrahlt wird. Einen Eindruck dieser Analysetechnik vermittelt **Bild 5**.

### Ausblick

Da eine ernsthafte und sinnvolle wissenschaftliche Auseinandersetzung mit natürlichen Gasen in Evaporiten bislang in Deutschland kaum existierte, das Verhalten von Gasen jedoch bei der Endlagerung jeglicher Art von Abfällen im Medium Salz eine entscheidende Rolle spielt, sind von dem hier skizzierten Forschungsvorhaben wichtige und entscheidende Impulse für die Diskussion der Eignung von Evaporiten als Endlagerstandorte zu erwarten.

Das Verhalten der Gase in der näheren Umgebung einer untertägigen Entsorgungseinrichtung im Salinar kann sicherlich besser verstanden und modelliert werden, wenn das Verhalten der natürlichen Gase der Einlagerungsformation bekannt ist und verstanden wird. Die Untersuchung des Migrationsverhaltens der natürlichen



**Bild 5:** Eine etwa 2 cm lange Salzprobe (auf dem Objektträger), die mit einem grünen Laser bestrahlt wird

Gase ist insofern auch sinnvoll, da hier langzeitliche Effekte nachvollzogen werden können, die im Laborexperiment nicht durchführbar sind. Durch die Untersuchungen dieses Projektes wird eine verbesserte Vorstellung vom Verbleib gebil-

deter oder freigesetzter Gase erarbeitet. Dazu wird das Verhalten natürlicher Gase in der Einlagerungsformation in Abhängigkeit von der mechanischen Beanspruchung des Gesteins untersucht.

Die bestimmenden Prozesse lassen Rückschlüsse auf künftige, unter Gasentwicklung oder -freisetzung ablaufende Szenarien zu, insbesondere auf die Migration der in einer untertägigen Entsorgungseinrichtung im Salinar entstehenden Gase. Das Verhalten der Gase und damit die Wechselwirkung zwischen Salinar und Gasen wird anhand geologischer Prozesse (tektonische Beanspruchung des Gesteins) untersucht. Es sind dadurch direkte Rückschlüsse auf die langzeitliche Barrierewirksamkeit des Wirtsgesteins Salz unter Einwirkung von Gasen zu erwarten.

*Dr. rer.nat. Michael Siemann  
Friederike Funke (BTA)*

*Dr. rer.nat. Joanna Potter  
Ph. D. (geol.) Mikhail Tsypukov  
Institut für Mineralogie und Mineralische  
Rohstoffe*

*Adolph-Roemer-Straße 2A  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Tel.: 05323/72-2051  
Fax: 05323/72-3737*

# 9. Nationales Symposium der SAMPE erfolgreich beendet

Bei Bilderbuchwetter strömten ca. 150 Teilnehmer aus Hochschulen und Industrie nach Clausthal, um dem 9. Nationalen SAMPE Society for the Advancement of Material and Process Engineering Symposium, das erstmals in Clausthal durch das Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik unter Leitung von Institutsdirektor Prof. Dr.-Ing. G. Ziegmann ausgerichtet wurde, beizuwohnen. Dieses Symposium, das dem wissenschaftlichen Austausch und der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses im Bereich der Faserverbundtechnologien dient, ist mittlerweile eine feste Größe im jährlichen Veranstaltungskalender für die Faserverbundexperten.

Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe, auch Composites genannt, haben ihren Ursprung in der Luft- und Raumfahrtindustrie. Dort sind mittlerweile im militärischen wie im zivilen Flugzeugbau eine ganze Reihe von großen Strukturbauteilen entwickelt und in die Serie umgesetzt, die bei gleicher Leistungsfähigkeit einen Gewichtsvorteil bis zu 30 % gegenüber klassischen Leichtbauwerkstoffen wie z.B. Aluminium erzielen. [Bild Airbus]

Dieses hohe Leistungspotential wird im Sportbereich in höchstem Maße z.B. im Formelsport umgesetzt; sämtliche Strukturelemente des Formel I-Chassis sind in Kohlenstofffaserverbunden konstruiert und gebaut. Die hohe Crash-

sicherheit derartiger Strukturen hat das Risiko von Verletzungen dramatisch reduziert. Mittlerweile greift die Faserverbundtechnologie auf weitere Anwendungsbereiche wie Transportwesen, Maschinenbau, Windflügel, bis hin zum Automobilbau über.

Diese Tagung gab in fünf Vortragsblöcken einen guten repräsentativen Eindruck zum Stand der Technik. Der erste Block befasste sich mit den Werkstoffkomponenten und stellte eindrücklich die Vielfalt der möglichen Werkstoffkombinationen dar.

Neue textile Formen der Hochleistungsfasern erlauben die Herstellung zunehmend kom- ▶



plexer Strukturen in einem einzigen Fertigungszyklus. Dazu ist es notwendig, wie z.B. Dipl.-Chem. L. Steuernagel (PuK) dokumentierte, das Aushärtungsverhalten der Matrix ausgiebig zu erforschen und zu modellieren.

In einem weiteren Beitrag wurde die Bedeutung der Grenzschicht zwischen Faser und Matrix am Beispiel der Feuchteaufnahme aufgezeigt, die für die Nutzung der Tragfähigkeit von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Die Wirtschaftlichkeit und Qualität von Bauteilen für die Luftfahrt- und weitere Industriebereiche wird durch die eingesetzten Prozesse entscheidend bestimmt. Dipl.-Ing. J.-N. Doerr vom PuK, TU Clausthal, stellte die Diaphragmatechnik vor, die u.a. der Verarbeitung von naturfaserverstärkten Kunststoffen dient, wie sie beispielhaft in Hutablagen, Türverkleidungen etc. in Automobilen oder neuen Bahnsystemen der Fa. Alstom zum Einsatz gelangen.

Hochsteife und feste Bauteile sind häufig als sog. Sandwichstrukturen konstruiert und gebaut, wobei zwei steife Deckschichten auf einen ultraleichten Kern aus Schaum- oder Wabenstruktur aufgebracht werden. Anwendungen finden sich im Flugzeugbau, im Sportbereich oder im Transportwesen in vielfältiger Form. So sind heute aufgrund hervorragender Steifigkeits- und Isolationseigenschaften viele Kühlbehälter in Sandwichbauweise hergestellt.

Der vierte Block widmete sich der gezielten Nutzung von Konstruktionsprinzipien für Hochleistungsfaserverbundbauteile. Dr. Häberle von der Universität Kassel demonstrierte mit einem Faserverbundrennrad deren Leistungsfähigkeit. Optimaler Leichtbau durch angepasste Konstruktion führt zu einem Rennrad, dessen Rahmen nur noch 800 g auf die Waage bringt. Die Leistungsfähigkeit dieser Konstruktion beweist Hanka Kupfernagel durch den Gewinn der Vizeweltmeisterschaft im Straßenrennen.

Der letzte Block zeigte einige spannende Anwendungen im Schienenfahrzeugbau und in der Luftfahrt, die eine vielversprechende Zukunft für die Faserverbunde prognostizieren. Die derzeitigen Projekte in der Automobilindustrie – hier am Beispiel von Volkswagen präsentiert – zeigen deutlich das wachsende Interesse an der Leistungsfähigkeit der Faserverbunde.

Das 1 l-Fahrzeug von VW, kürzlich von Wolfsburg nach Hamburg gefahren, ist schließlich zu nahezu 40 % aus diesem Leichtbauwerkstoff hergestellt.

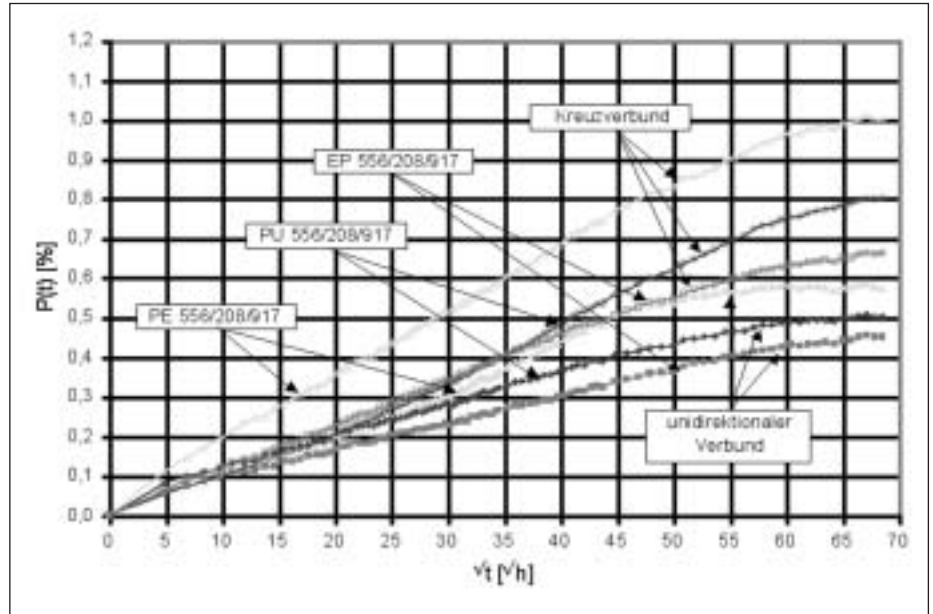


Abbildung 1: Feuchteaufnahmeverhalten von glasfaserverstärkten Epoxidharzen in Abhängigkeit vom Laminataufbau und von der Faserflächenbehandlung

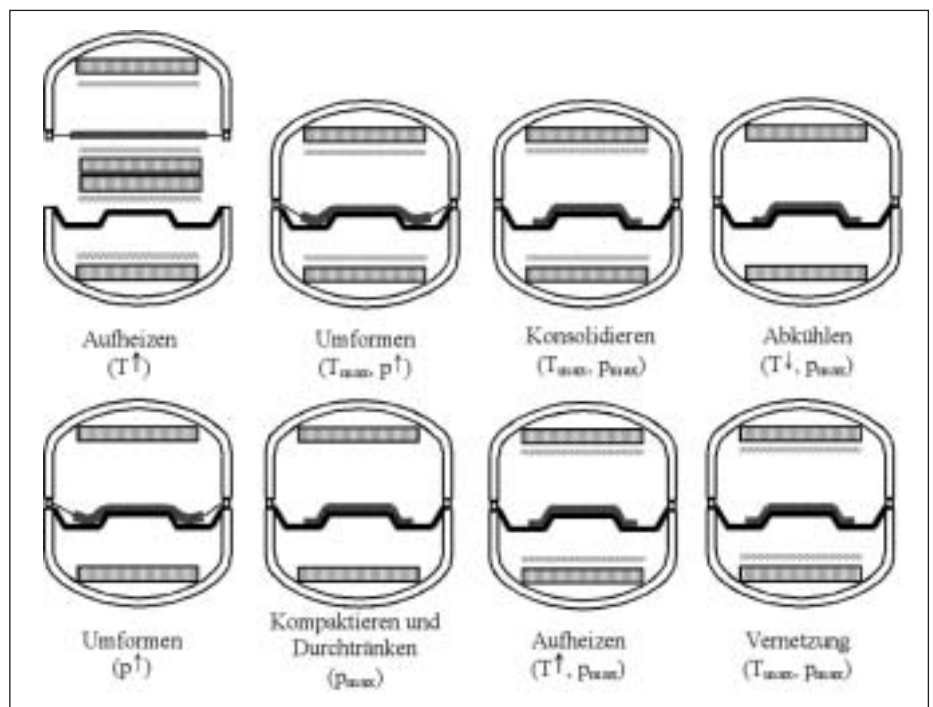


Abbildung 2: Prinzip des Diaphragmaverfahrens für Thermo- und Duroplaste

Mit dieser Tagung haben die TU Clausthal und das PuK eindrücklich bewiesen, dass hier hohe Forschung betrieben wird und die erfolgreiche Ausrichtung einer derartigen Tagung diese kleine und leistungsfähige Uni vor keinerlei Probleme stellt.

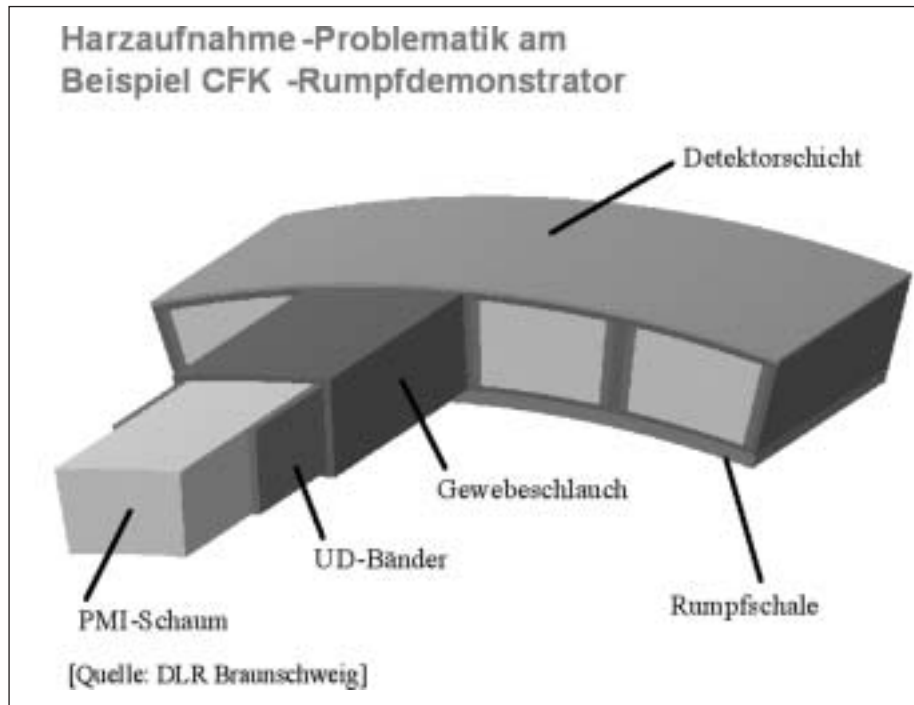


Abbildung 4: J-Nose A340-600 by Airbus UK and Fokker Special Products (FSP)

*Institut für Polymerwerkstoffe und  
Kunststofftechnik  
Technische Universität Clausthal  
Prof. Dr.-Ing. G. Ziegmann  
D-38678 Clausthal-Zellerfeld  
Agricolastraße 6  
Telefon: +49 5323/72-2090  
Telefax: +49 5323/722324  
USt-Id Nr. DE 811282802  
ziegmann@puk.tu-clausthal.de*

Abbildung 3: Harzaufnahme-Problematik am Beispiel eines CFK-Rumpfdemonstrators

# Von Lücken zwischen Primzahlen zur Optimierung von Gitterpunkten

Von Christian Elsholtz

## Einleitung

### Von der Antike zur Moderne

Zahlentheorie gehört zu den ältesten Disziplinen der Wissenschaft. So listet z.B. eine babylonische Tafel<sup>1</sup> ganzzahlige Lösungen der Gleichung  $x^2 + y^2 = z^2$  auf. Man geht davon aus, dass derartige Tafeln eine Art Vorstufe von trigonometrischen Tabellen waren. Es ist bekannt, dass auch die Ägypter das rechtwinklige Dreieck mit Seitenlängen 3, 4 und 5 zur Landvermessung verwendeten.<sup>2</sup> Bei Euklid<sup>3</sup> finden sich bereits interessante Aussagen über Primzahlen.<sup>4</sup> So geht der Beweis, dass es unendlich viele Primzahlen gibt, auf ihn zurück. Darüber hinaus untersuchte er Primzahlen der Form  $p=2^n-1$ . Die Untersuchung von Primzahlen dieser Form ist heute zu einer Art Test für neue arithmetische Algorithmen, schnelle Hardware und verteiltes Rechnen geworden. Die jeweils größten bekannten Primzahlen sind von dieser Form.

In den letzten Jahrhunderten wurde die Theorie der Primzahlen durch bedeutende Mathematiker wie Fermat, Euler, Gauß und Riemann weiterentwickelt.

In den letzten Jahrzehnten haben die früher gelegten Grundlagen der Primzahltheorie Anwendungen gefunden, an die man zuvor hätte gar nicht denken können. Z.B. hängt die Sicherheit elektronischer Kommunikation (wie z.B. elektronischer Bezahlssysteme) zu einem erheblichen Teil daran, dass es nach unserem derzeitigen Wissen viel leichter ist, zwei große Primzahlen  $p$  und  $q$  zu finden und ihr Produkt  $n=pq$  zu berechnen, als von der Zahl  $n$  die Faktoren  $p$  und  $q$  zu finden, wenn man sie nicht kennt. Bei dem Problem, große Primzahlen zu finden, hat es im vergangenen Jahr einen bedeutenden theoretischen Durchbruch gegeben, von dem man sich erhofft, dass Weiterentwicklungen hiervon auch Auswirkungen auf die Praxis haben könnten.<sup>5</sup>

Im Jahr 2000 wurden acht Preise im Wert von jeweils einer Millionen US-Dollar auf die Lösung wichtiger mathematischer Probleme ausgesetzt. Der erste Preis<sup>6</sup> wurde von einem Verlag auf die erste korrekte Lösung eines Problems ausgesetzt, das auf einen Briefwechsel zwischen Christian Goldbach und Leonhard Euler zurückgeht. Darin vermutete Goldbach (1742), dass jede gerade Zahl  $n>2$  als Summe von zwei Primzahlen geschrieben werden kann, (also z.B.  $4=2+2$ ,  $6=3+3$ ,  $8=3+5$ ,  $10=3+7$  usw.). Diese Vermutung ist eine der bekanntesten offenen Fragen der Mathematik.

Fragen, die ohne Fachkenntnisse verständlich sind, die aber so schwer sind, dass sie niemand beantworten kann, haben seit jeher einen besonderen Reiz auf die Mathematiker ausgeübt. Ein beachtlicher Teil der heutigen Mathematik ist entwickelt worden, um sich an solche Fragen heranzuwagen. Die hierbei entwickelten Methoden sind in der Regel dann wichtiger als die ursprünglichen Fragen, weil man mit den neuen Methoden auch viele weitere Fragen beantworten kann.

Die sieben anderen Millionendollarpreise wurden vom Clay-Institute<sup>7</sup> ausgelobt. Darunter sind immerhin zwei weitere zahlentheoretische Probleme, wovon die Lösung eines der Probleme (die Riemann'sche Vermutung) Konsequenzen für unser Wissen über Lücken zwischen Primzahlen hätte.

Bisher wurde über einige Probleme der Zahlentheorie berichtet, bei denen entweder ein Durchbruch erzielt wurde oder bei denen man sich einen Durchbruch durch die Aussetzung der Preise erhofft.

### Aktuelle Fragen über Lücken zwischen Primzahlen

In den folgenden Abschnitten werden wir uns verschiedenen Fragen nach Abständen zwischen Primzahlen zuwenden. Ich habe im Rahmen

meiner Forschung der vergangenen Jahre hierzu neue Methoden entwickelt und werde über die Ergebnisse berichten. Die Methoden sind allgemein genug, um auch auf einige Gitterpunktprobleme angewendet werden zu können. Eine mögliche Anwendung eines solchen Problems diskutieren wir im letzten Abschnitt.

Während Primzahlen über die Multiplikation (bzw. Division) definiert sind, sind Fragen, die die Addition oder Subtraktion von Primzahlen betreffen, zumeist sehr schwer. Wir listen einige typische Fragen auf:

- 1) Kann jede gerade Zahl  $n>2$  als Summe von zwei Primzahlen geschrieben werden? (Goldbach'sche Vermutung, s.o.)
- 2) Gibt es unendlich viele Primzahlen  $p$ , so dass auch  $p+2$  eine Primzahl ist? (Beispiele sind (5, 7), (11, 13), (17, 19)). (Primzahlzwillingsproblem)
- 3) a) Gibt es unendlich viele Primzahlen der Form  $p=a^2+1$ ?  
b) Gibt es unendlich viele Primzahlen, die in der Form  $p=a^2+b^2$  ( $a, b$  sind ganze Zahlen) geschrieben werden können?
- 4) Gibt es zwischen  $n^2$  und  $(n+1)^2$  immer mindestens eine Primzahl?

Während Frage 3b) vollständig gelöst ist, gelten die anderen Fragen als hoffnungslos schwer. Es sind dort nur Teilantworten bekannt. Im nächsten Abschnitt wird die Antwort auf Frage 3b) erläutert, und in den folgenden Abschnitten werden Verallgemeinerungen von Frage 2 betrachtet.

### Summen von zwei Quadraten

Die Frage, ob es unendlich viele Primzahlen von einer vorgegebenen Form wie  $a^2+b^2$  gibt und wie man diese Primzahlen noch beschreiben kann, ist historisch wichtig gewesen und hat zur Entwicklung neuer Methoden im Bereich der Algebra und der Analysis geführt. Darüber hinaus werden wir im letzten Abschnitt sehen, dass ▶

<sup>1</sup> Die Tafel namens Plimpton 322 stammt etwa von 1750 vor Christus. Informationen unter [http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/HistTopics/Babylonian\\_Pythagoras.html](http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/HistTopics/Babylonian_Pythagoras.html)

<sup>2</sup> Es ist  $3^2+4^2=5^2$  und nach der Umkehrung des Satzes von Pythagoras folgt, dass dieses Dreieck rechtwinklig ist.

<sup>3</sup> etwa 300 vor Chr. Euklids Bücher galten Jahrhunderte lang als Standardwerk.

<sup>4</sup> Eine Primzahl ist eine natürliche Zahl  $n>1$ , die außer sich selbst und der 1 keine ganzzahligen Teiler hat. Die Menge der Primzahlen beginnt also mit 2,3,5,7,11,13,17...

<sup>5</sup> M. Agarwal, N. Kayal, N. Saxena: Primes is in P. Für das Originalmanuskript und relevante Information siehe <http://fatphil.org/math/AKS/>

<sup>6</sup> Über die Millionendollarofferte vom 15. März 2000 berichten: <http://www.apostolosdoxiadis.com/million.htm> bzw. <http://www.apostolosdoxiadis.com/rules.htm>, <http://www.times-archive.co.uk/news/pages/tim/2000/03/16/timfeafea02004.html>

<sup>7</sup> Clay Institute, Millennium prize problems, (24. Mai 2000), <http://www.claymath.org/>

mit der Antwort auf diese Frage Probleme der diskreten Optimierung gelöst werden können.

Die Frage nach den Primzahlen der Form wird vollständig durch den folgenden Satz von Fermat und Euler beantwortet.

**Satz 1:** Eine Primzahl  $p$  ist genau dann als Summe von zwei Quadraten natürlicher Zahlen darstellbar, wenn  $p=2$  ist oder wenn  $p-1$  durch 4 teilbar ist. Darüber hinaus ist (bis auf die Reihenfolge) die Darstellung  $p=a^2+b^2$  eindeutig.

Die Primzahlen  $p>2$  lassen sich in zwei Klassen einteilen, nämlich solche, die bei Division durch 4 den Rest 1 lassen (wie z.B. 5, 13, 17, 29), und solche, die den Rest 3 lassen (wie z.B. 3, 7, 11, 19, 23). Der Satz besagt also, dass die Primzahlen der einen Klasse in der Form geschrieben werden können (wie z.B.  $5=1^2+2^2$ ,  $13=2^2+3^2$ ), die Primzahlen der anderen Klasse aber nicht. Es ist sogar so, dass Primzahlen in beiden dieser Klassen im Wesentlichen gleich häufig vorkommen.

## Das Primzahlzwillingsproblem und seine Verallgemeinerungen

Auch wenn die Frage, ob es unendlich viele Primzahlzwillinge ( $p, p+2$ ) gibt (Frage 2 der obigen Liste), von niemandem beantwortet werden konnte, wurden bereits wesentlich weitergehende Fragen gestellt. Empirische Beobachtungen legen nahe, dass jede gerade Zahl unendlich oft als Differenz zweier Primzahlen vorkommt, (z.B.  $10=17-7=47-37=107-97=...$ ). Analog wurden auch längere „Muster“ von Lücken zwischen Primzahlen untersucht; allerdings ist hierbei etwas mehr Vorsicht geboten. Die Zahlen 3, 5 und 7 sind das einzige Tripel von drei aufeinander folgenden ungeraden Primzahlen. Im allgemeinen ist immer eine von drei aufeinander folgenden ungeraden Zahlen durch 3 teilbar. Im Gegensatz dazu wird vermutet, dass es unendlich viele Primzahlen  $p$  gibt, für die auch  $p+2$  und  $p+6$  prim sind, z.B. (11, 13, 17), und (41, 43, 47). Allgemeiner definiert man sogenannte zulässige Muster. Vereinfacht gesagt, ist ein Muster zulässig, wenn es keinen elementaren Grund dafür gibt, dass dieses Muster nur für endlich viele Primzahltripel vorkommen kann.<sup>8</sup>

Auch kompliziertere zulässige Muster von Primzahltripeln kommen vermutlich unendlich oft vor. Durch empirische und heuristische Untersuchungen ist es sogar gelungen, diese Vermutungen zu quantifizieren, d.h. es gibt Prognosen, die voraussagen, wie oft diese Muster in einem endlichen Intervall  $[1, N]$  vorkommen. Um

dies zu erläutern, beginnen wir mit einem der Hauptsätze der Primzahltheorie, der von Gauß vermutet und von Hadamard und de la Vallée-Poussin bewiesen wurde.

**Satz 2:** Für die Anzahl  $\pi(N)$  der Primzahlen im Intervall  $[1, N]$  gilt folgende Näherungsformel:<sup>9, 10</sup>

$$\pi(N) \sim \frac{N}{\log N}.$$

Anschaulich besagt der Satz, dass für eine zufällig gewählte große natürliche Zahl  $n$  die Wahrscheinlichkeit, dass  $n$  prim ist, etwa  $1/\log n$  beträgt. Wendet man das gleiche Zufallsexperiment auf  $n+2$  an, so könnte man, wenn die Experimente unabhängig wären, erwarten, dass es im Intervall  $[1, N]$  etwa  $N/(\log N)^2$  viele Primzahlzwillinge gibt. Leider ist es nicht so, dass die Ereignisse „ $n$  ist prim“ und „ $n+2$  ist prim“ unabhängig sind. Ist z.B.  $n+2$  prim, so ist  $n$  ungerade, und damit auch  $n+2$  ungerade, also keine echte Zufallszahl im ganzen Intervall  $[1, N]$ . Das Ergebnis wurde also um einen Faktor 2 verfälscht. Ist z.B.  $n$  durch 7 teilbar, so ist  $n+2$  nicht durch 7 teilbar. Es lässt sich heuristisch erklären, wie diese Fehler durch einen geeigneten Korrekturfaktor berichtigt werden können; aber es ist noch niemandem gelungen, einen Beweis anzugeben. Hier ist eine genauere Formulierung dieser Vermutungen:

**Vermutung 1:** Für die Anzahl  $\pi_2(N)$  der Primzahlzwillinge ( $p, p+2$ ) im Intervall  $[1, N]$  gilt:

$$\pi_2(N) \sim C \frac{N}{(\log N)^2}.$$

Hierbei ist

$$C = 2 \prod_{p>2} \left(1 - \frac{1}{(p-1)^2}\right) = 1,320 \dots$$

eine Konstante.

Als Verallgemeinerung hiervon vermutet man nun für längere Primzahltripelmuster:

**Vermutung 2:** Es sei  $(a_1, \dots, a_k)$  ein zulässiges Muster. Für die Anzahl  $\pi_{(a_1, \dots, a_k)}(N)$  der Primzahltripel  $(n+a_1, n+a_2, \dots, n+a_k)$  im Intervall  $[1, N]$  gilt

$$\pi_{(a_1, a_2, \dots, a_k)}(N) \sim C_{(a_1, a_2, \dots, a_k)} \frac{N}{(\log N)^k}.$$

Hierbei ist  $C_{(a_1, a_2, \dots, a_k)}$  eine positive Konstante.

Eine allgemeinere Frage, die derartige  $k$ -Tupel-Probleme umfasst, kann wie folgt formuliert werden. Man definiert die Summe zweier Mengen  $A+B=\{a+b: a \in A, b \in B\}$  (z.B.  $\{1, 2, 7\} + \{2, 10\} = \{3, 4, 9, 11, 12, 17\}$ ). Die Frage lautet dann, für welche Mengen  $A$  und  $B$  die Summenmenge  $A+B$  eine Teilmenge der Menge der Primzahlen ist. Das Primzahltripelproblem für  $(n, n+2, n+6)$  ist dann als Spezialfall enthalten:  $A=\{0, 2, 6\}$  und  $B$  ist eine Teilmenge der Primzahlen, die z.B. die Zahlen 5, 11, 17, 41 enthalten darf. Die neue Formulierung enthält die obigen  $k$ -Tupelprobleme, ist aber allgemeiner, weil  $A$  und  $B$  auch Mengen mit unendlich vielen Elementen sein können.

Eine wichtige Frage in diesem Zusammenhang geht auf Ostmann zurück. Zunächst kann man prüfen, ob die Menge  $P$  aller Primzahlen auf diese Weise additiv zerlegt werden kann, so dass  $A+B=P$  gilt, wobei die Mengen  $A$  und  $B$  mindestens zwei Elemente enthalten. Eine nähere Untersuchung zeigt, dass dies (z.B. wegen der Primzahlen 2 und 3) nicht sein kann; aber Ostmann fragte, ob es Mengen  $A$  und  $B$  mit jeweils mindestens zwei Elementen gibt, so dass die Summenmenge  $A+B=P'$  für genügend große Elemente mit der Menge der Primzahlen übereinstimmt. Dies ist ein etwa 50 Jahre altes offenes Problem, das auch *inverses Goldbachproblem* genannt wird. Eine Reihe Mathematiker zeigte: Wenn es eine derartige Zerlegung  $A+B=P'$  geben sollte, dann müssen beide Mengen  $A$  und  $B$  unendlich viele Elemente enthalten. Aus einer Arbeit von Hornfeck aus dem Jahre 1954 ergibt sich ein quantitatives Resultat: Die Anzahl  $A(N)$  der Elemente der Menge  $A$ , die im Intervall  $[1, N]$  liegen, beträgt mindestens  $(\log N)^k$ , aber höchstens

$$N/(\log N)^k.$$

(Hierbei ist  $k$  eine beliebige große Konstante). Mit den damals vorhandenen Methoden konnte man kein besseres Resultat erwarten.

Erst im Jahre 1996 ergab eine Arbeit von Hofmann und Wolke den ersten Fortschritt. Sie verbesserten dies durch Anwendung einer neueren Methode von mindestens<sup>11</sup>  $\exp(c \log N / \log \log N)$ , aber höchstens  $N/\exp(c \log N / \log \log N)$ . Auch hierbei sind die obere und untere Schranke noch weit auseinander. Durch die Entwicklung eines neuen Siebverfahrens, das die Vorteile zweier vorher bekannter Siebverfahren kombiniert, konnten nun diese Resultate um einen Faktor von fast  $\sqrt{N}$  verbessert werden:  $A(N)$  muss mindestens

$$\frac{\sqrt{N}}{(\log N)^3},$$

<sup>8</sup> Ein Muster  $(a_1, \dots, a_k)$  ist dann zulässig, wenn die Zahlen  $a_1, \dots, a_k$  bei Division durch jede der Primzahlen  $p \leq k$  jeweils höchstens  $p-1$  verschiedene Reste annehmen. Das Muster  $(0, 2, 4)$  erzeugt bei Division durch 3 alle drei möglichen Reste, ist also nicht zulässig, aber das Muster  $(0, 2, 6)$  ergibt bei Division durch 2 nur den Rest 0, und bei Division durch 3 nur die Reste 0 und 2, ist also zulässig.

<sup>9</sup> Hierbei bedeutet  $f(N) \sim g(N)$ , dass der Quotient  $f(N)/g(N)$  gegen 1 geht, wenn  $N$  groß wird.

<sup>10</sup> Hier und im folgenden ist  $\log$  der natürliche Logarithmus, der auch oft mit  $\ln$  abgekürzt wird.

<sup>11</sup> Hierbei ist  $\exp(x) = e^x$ .



kann aber höchstens  $\sqrt{N} (\log N)^2$  groß sein. Diese Schranken liegen also sehr nahe beieinander.

**Satz 3:** Falls es eine Zerlegung  $A+B=P'$  gibt, wobei sich  $P'$  von der Menge der Primzahlen  $P$  nur an endlich vielen Stellen unterscheidet und wobei  $A$  und  $B$  mindestens je zwei Elemente enthalten, so gilt:

$$c_1 \frac{\sqrt{N}}{(\log N)^3} \leq A(N) \leq c_2 \sqrt{N} (\log N)^2$$

mit positiven Konstanten  $c_1, c_2$ . Die gleichen Schranken gelten für  $B(N)$ .

Diese Methode erlaubt es auch, eine Reihe weiterer Resultate zu erzielen:

**Satz 4:** Es gibt keine Menge  $P'$ , die sich von den Primzahlen nur an endlich vielen Stellen unterscheidet, die als  $P'=A+B+C$  geschrieben werden kann, wobei die Mengen  $A, B$  und  $C$  jeweils mindestens zwei Elemente enthalten.

Das multiplikative Analogon von Ostmanns Problem kann gelöst werden:

**Satz 5:** Es gibt keine Menge  $P'$ , die sich von den Primzahlen nur an endlich vielen Stellen unterscheidet, die als  $P'=AB+1$  geschrieben werden kann, wobei die Mengen  $A$  und  $B$  mindestens je zwei Elemente enthalten.

**Satz 6:** Es gibt keine Menge  $P'$ , die sich von den Primzahlen nur an endlich vielen Stellen unterscheidet, die als  $P'=A+B$  geschrieben werden kann, wobei  $A$  und  $B$  jeweils mindestens je zwei Elemente enthalten und wobei fast jede<sup>12</sup> Primzahl  $p$  genau eine Darstellung als  $p=a+b$  hat.

Der letzte Satz ist z.B. von Interesse, weil man ja die Primzahlen der Form  $p \equiv 1 \pmod{4}$  (bis auf die Reihenfolge) auf genau eine Weise als Summe von zwei Quadratzahlen schreiben kann. Eine Variante des Zweiquadratesatzes mit noch schöneren Eigenschaften kann man also nicht erwarten.

## Lange Primzahlmuster

Wie beschrieben, wird vermutet, dass ein „zulässiges“ Primzahlmuster  $(n+a_1, n+a_2, \dots, n+a_k)$  im Intervall  $[1, N]$  etwa

$$C_{(a_1, a_2, \dots, a_k)} \frac{N}{(\log N)^k}$$

oft vorkommt. Auch wenn hierfür kein Beweis bekannt ist, so kann doch bewiesen werden, dass das Muster nicht sehr viel häufiger vorkommen kann:

Es gilt folgende obere Schranke

$$2^k k! C_{(a_1, a_2, \dots, a_k)} \frac{N}{(\log N)^k}$$

für die Häufigkeit. Natürlich wären entsprechende untere Schranken für die Häufigkeit von größerem Interesse, weil sie ja die ungelösten Fragen beantworten würden. Es sind auch obere Schranken von Interesse, wenn die Länge  $k$  des Musters nicht konstant ist, sondern von der Intervalllänge  $N$  abhängen darf. Durch die Anwendung der neuen Siebmethode kann gezeigt werden, dass die obere Schranke der Form

$$N/(\log N)^k$$

in etwa richtig bleibt, so lange  $k < c \log N / \log \log N$  gilt. Falls  $k$  noch größer ist, so geht die obere Schranke relativ schnell gegen  $\sqrt{N}$ . Auf der anderen Seite kann gezeigt werden, dass man diese Schranken auch nicht wesentlich verbessern kann. Es gibt nämlich Muster (die aber leider von der Intervalllänge  $N$  abhängen), für die die Länge und Häufigkeit des Musters nahe am erlaubten Maximum liegt. Insbesondere gibt es Mengen  $A$  und  $B$  mit mindestens  $\log N / \log \log N$  vielen Elementen im Intervall  $[1, N]$ , für die alle Summen aus  $A+B$  prim sind. Zum Beweis werden analytische Siebmethode und kombinatorische Zählmethoden verwendet.

## Primzahlen in dünnen Folgen

Wie beschrieben, ist die Menge der Primzahlzwillinge mit vermuteter Häufigkeit

$$\pi_2(N) \sim C \frac{N}{(\log N)^2}$$

bereits zu dünn, um sie mit heutigen Methoden zählen zu können. Vor wenigen Jahren erzielten Friedlander und Iwaniec ein spektakuläres Resultat bei einer noch viel dünneren Menge. Im Intervall  $[1, N]$  gibt es etwa  $N^{3/4}$  viele Zahlen der Form  $n=a^2+b^4$ . Von dieser dünnen Menge bewiesen sie, dass sie Primzahlen mit der richtigen Häufigkeit enthält, d.h., dass etwa

$$\frac{N^{3/4}}{\log N}$$

dieser Zahlen prim sind. Dies war methodisch ein enormer Durchbruch, weil eine Reihe technischer Schwierigkeiten umgangen werden konnte. Verknüpft man dieses Ergebnis mit Methoden der Graphentheorie, so kann gezeigt werden, dass es Mengen  $A$  von Quadraten und  $B$  von vierten Potenzen gibt, so dass alle Kombinationen  $a^2+b^4$  prim sind. Hierbei können die Mengen  $A$  und  $B$  im Intervall  $[1, N]$  mindestens  $\log N / (2 \log \log N)$  viele Zahlen haben, können

also fast genauso groß sein wie im vorigen Abschnitt ohne die Restriktion. Das folgende numerische Beispiel zeigt, dass diese Mengen auch algorithmisch ermittelt werden können. Für  $A=\{35610^2, 82140^2, 114570^2, 601620^2, 819660^2, 945870^2, 1265820^2, 1319520^2, 1932720^2\}$  und  $B=\{31^4, 61^4, 91^4, 121^4, 151^4, 181^4\}$  ist jedes Element aus  $A+B$  prim. Es wäre wünschenswert, den Ansatz von Friedlander und Iwaniec zu verallgemeinern, um auch Primzahlen der Form  $27a^2+b^6$  bearbeiten zu können. Dies hätte nämlich Auswirkungen auf unser Wissen über elliptische Kurven, und dies wiederum hätte Anwendungen in der Kryptographie.<sup>13</sup>

## Eine Anwendung auf ein Gitterpunktproblem

Wir haben bereits einiges Wissen über Primzahlen der Form  $p=a^2+b^4$  und  $p=a^2+b^2$  zusammengetragen. In diesem Abschnitt werden wir sehen, dass Mengen  $A$  und  $B$  von Quadraten, so dass alle Zahlen  $a^2+b^2$  prim sind, Anwendungen haben können.

Es ist bekannt, dass manche angewandten Fragestellungen letztlich auf ein kombinatorisches Positionierungsproblem in der Ebene zurückgeführt werden können. Abstände zwischen Gitterpunkten der Ebene hängen aufgrund des Satzes von Pythagoras mit der Summe von zwei Quadraten ganzer Zahlen zusammen. Es ist also zu erwarten, dass eine gute Kenntnis derjenigen Zahlen, die als Summe von zwei Quadraten geschrieben werden können, bei ebenen Gitterpunktproblemen von Nutzen ist. Wir stellen ein idealisiertes Problem vor, bei dem wir technische Komplikationen vermeiden. Die Informationstheoretiker Golomb und Taylor berichten, dass ähnliche Probleme Anwendung bei der Signalverarbeitung von gemessenen Signalen haben.<sup>14</sup>

Nehmen wir an, dass eine Firma ein Messexperiment machen will oder dass ein Telekommunikationsunternehmen dauerhaft eine Reihe von Sendern und Empfängern positionieren will. (Ob es sich jeweils um Sender, Empfänger oder beides handelt, kann je nach Problem spezifiziert werden.) Dabei gebe es ein ausgezeichnetes (teures) Gerät  $S$ , das mit vielen anderen kleineren Geräten  $G_1, \dots, G_r$  kommunizieren soll. Wir legen das Gerät  $S$  in den Nullpunkt eines Koordinatensystems und die Geräte  $G_i$  als rechteckigen Block der Seitenlängen  $|A|$  bzw.  $|B|$  auf ganzzahlige Gitterpunkte. Wenn z.B. die Geräte die Koordinaten  $(1, 1), (1, 2), (2, 1)$  und  $(2, 2)$  haben, so ist vom Ursprung  $(0, 0)$  aus der Punkt  $(2, 2)$  durch den Punkt  $(1, 1)$  verdeckt. Außerdem ist der Weg von  $(2, 2)$  nach  $(0, 0)$  genau doppelt so weit wie von  $(1, 1)$  aus. Das könnte den Nachteil haben, dass einerseits keine direkte Kommu- ►

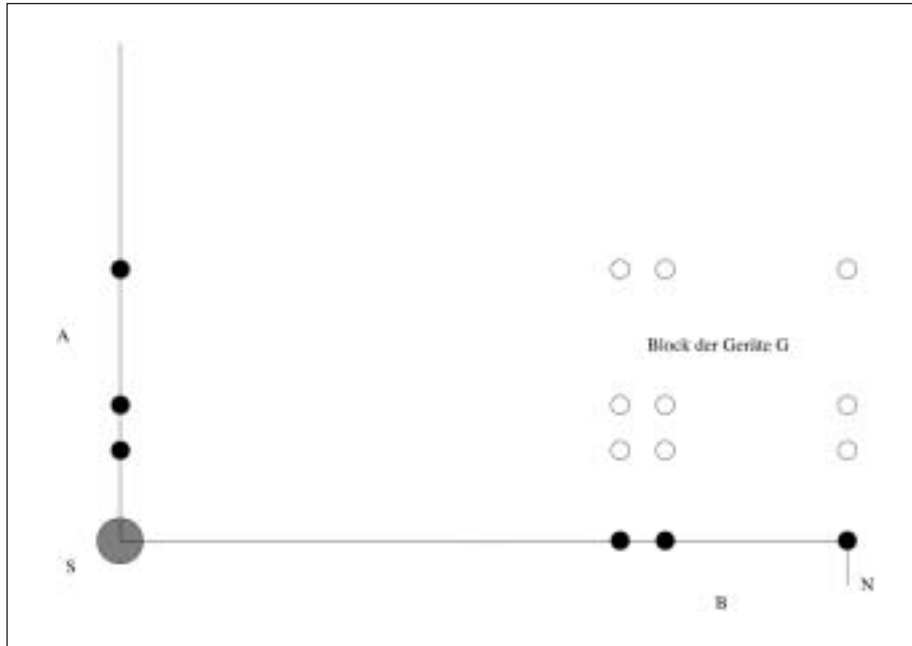
<sup>12</sup> „Fast jede Primzahl“ heißt hier „jede Primzahl bis auf endlich viele Ausnahmen“.

<sup>13</sup> Friedlander, J., Iwaniec, H.: Using a parity-sensitive sieve to count prime values of a polynomial. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 94, 1054-1058, 1997.

<sup>14</sup> Golomb, S.W. und Taylor, H.: Two-dimensional Synchronization patterns for minimum ambiguity, IEEE Transactions on information theory 28, 1982, 600-604.

Bertram-Kretzberg, C. und Lefmann, H.: The algorithmic aspects of uncrowded hypergraphs. Siam J. Comp. 29, 1999, 201-230, Bemerkung vor Theorem 5.5.





schwierigeren Fall realisierbar. Ist eine der obigen Bedingungen nicht notwendig, kann sie einfach weggelassen werden. Es können sicher einige weitere Bedingungen zusätzlich gestellt werden. Ob sich diese dann mit obigem Ansatz behandeln lassen, hängt aber vom Einzelfall ab.

Hierbei handelt es sich also um ein Problem der diskreten ganzzahligen Optimierung, das mit kombinatorischen Methoden (u. a. Graphentheorie) konstruktiv gelöst werden kann.

Durch die Entwicklung neuer Methoden (bzw. durch die Kombination von Methoden aus verschiedenen mathematischen Gebieten) ist es gelungen, die Fragestellungen über Primzahlen weit voranzutreiben. Wie wir gesehen haben, sind die Methoden allgemein genug, um auch bei Fragen außerhalb der Zahlentheorie erfolgreich eingesetzt zu werden.

nikation möglich ist und dass andererseits Interferenzen auftreten. Diese Gitteranordnung wäre also ungünstig.

Stellt man nun eine Wunschliste für eine gute Anordnung von Gitterpunkten zusammen, so sieht diese vielleicht wie folgt aus.

- 1) Blockanordnung der kleinen Geräte  $G_i$  aus Kostengründen.
- 2) Alle Richtungen vom Ursprung aus sind verschieden.

- 3) Alle Weglängen sind verschieden, wodurch bereits aus der Laufzeit eines Signals das Gerät eindeutig identifiziert ist.

- 4) Die Weglängen haben zueinander irrationale Verhältnisse, um Interferenzen zu vermeiden.

Diese Bedingungen lassen sich erfüllen, wenn die Geräte  $G_i$  in Punkten mit den Koordinaten  $(a_i, b_i)$  positioniert sind, wobei alle  $a_i^2 + b_i^2$  prim sind (siehe Graphik). Wie im vorhergehenden Abschnitt erläutert, ist dies sogar in einem viel

*PD Dr. rer. nat. habil. Christian Elsholtz*  
*Institut für Mathematik*  
*Erzstraße 1*  
*38678 Clausthal-Zellerfeld*  
*Tel.: 05323/72-2406*  
*Fax: 05323/72-2304*  
*E-Mail: elsholtz@math.tu-clausthal.de*  
<http://www.math.tu-clausthal.de/~mace/>

# Eine Methode, zwei Einsatzgebiete: Beurteilung der Wassergüte und Hilfe für Archäologen

„An der Universität von Birmingham in Großbritannien und an der TU Clausthal wurde die Methode der spektralen induzierten Polarisation (SIP) für unterschiedliche Einsatzgebiete weiterentwickelt. Gefördert vom Deutschen Akademischen Austauschdienst war Norbert Schleifer für zwei Wochen in Birmingham zu Gast, um die Clausthaler Arbeiten vorzustellen und zu diskutieren, und im Gegenzug kam MSc Julian Scott zu uns“, sagt Professor Dr. Andreas Weller vom Institut für Geophysik der TU Clausthal.

Die Clausthaler Geophysiker setzen die SIP-Methode seit rund zwei Jahren mit Erfolg ein, um bronzezeitliche Bohlenwege, die nur wenige Dezimeter unter der Erde liegen, aufzuspüren. Das ist für die Archäologen äußerst hilfreich, mussten sie doch bisher umfangreiche Ausgrabungen ausführen, um die Siedungsreste zu finden. Mit der SIP-Methode werden dem Archäologen gleichsam Röntgenaugen verliehen, und er kann später, nachdem er sich mit der geophysikalischen Methode einen Überblick verschafft

hat, Details, die ihn besonders interessieren, freilegen.

In Birmingham wird die gleiche Methode mit einer anderen Zielstellung weiterentwickelt. „25 Prozent des Grundwassers in England und Wales wird aus triassischen Sandsteinen gewonnen. In einem ersten Schritt untersuchte ich Sandsteinproben verschiedener Herkunft daraufhin, ob und wie sich der Porenraum zwischen den verbackenen Sandkörnern, die Form der Poren, sowie der Gehalt an Tonmineralen in ►

den Messsignalen widerspiegelt“, erklärt MSc Julian Scott.

„Die Clausthaler und die Birminghamer Apparatur sind vom gleichen Hersteller, aber die Messzellen und Probenhalter sind etwas anders gebaut. Wir haben unsere Messungen verglichen. Die in beiden Labors gewonnenen Aussagen ergänzen sich gut“, sagt Professor Weller.

„Die konkurrierenden Methoden (Porosimetrie und Dünnschliffmikroskopie) sind nur nach

aufwendiger Probenpräparation im Labor durchführbar. So haben sie aber ihre spezifischen Unsicherheitsfaktoren. Wird die Struktur der Tonmineralien durch die Trocknung der Probe zerstört? Ist die kleine Probe vielleicht gar nicht aussagekräftig für den ganzen Sandstein? Ein Fernziel der Forschungen könnte sein, in der Umgebung eines Brunnens die Elektroden in den Boden zu spießen und anhand der elektrischen Signale Aussagen darüber treffen zu kön-

nen, ob das aus dem Sandstein zutretende Grundwasser sauber oder verschmutzt ist“, sagt MSc Julian Scott.

Die Clausthaler und Birminghamer Geophysiker saugen Nektar aus der Kooperation, indem sie mit gemeinsam konzipierten Versuchen mehr über die Ursachen der Messeffekte lernen und damit die gewonnenen Ergebnisse besser interpretieren können.



# Forschungskooperation

## Deutsche Lufthansa AG – TU Clausthal auf dem Gebiet der Simulation

**Dr. Christoph Klingenberg, Generalbevollmächtigter der Infrastruktur der Deutschen Lufthansa AG, und Prof. Dr. Thomas Hanschke, Vizepräsident der Technischen Universität Clausthal für Studium und Lehre, besiegelten am 4. November eine Forschungskooperation. Gemeinsames Thema ist die Simulation im kommerziellen Luftverkehr.**

Von der interdisziplinären Zusammenarbeit von Mathematikern, Informatikern, Betriebswirten und Technikern erhofft man sich neue Impulse für die Lösung von Infrastrukturproblemen. Die besondere Herausforderung wird dabei in der Integration dieser Verfahren in die Geschäftsprozesse des Unternehmens gesehen. Simulation wird mittlerweile in allen Industriezweigen als betriebliche Entscheidungshilfe eingesetzt. In der Vergangenheit haben sich Simulationsmodelle überwiegend auf technische Prozesse bezogen. Inzwischen werden Simulationsverfahren jedoch auch zur Optimierung logistischer und administrativer Prozesse herangezogen. Im Verkehrswesen würden diese Verfahren ermöglichen, die Auswirkungen von Verkehrswachstum oder die Einführung kapazitätsverändernder Maßnahmen bereits im Vorfeld der Planung zu quantifizieren. Dadurch wird das Risiko kostenintensiver Versuche am realen System minimiert, die zudem bei Infrastrukturmaßnahmen meistens nicht rückgängig zu machen sind. Die Arbeitsgruppe „Stochastische Modelle in den Ingenieurwissenschaften“ am Institut für Mathematik der TU Clausthal hat sich auf die



(v.l.n.r.) Dr. Christoph Klingenberg, Deutsche Lufthansa AG, Dr. Michael Mederer, Deutsche Lufthansa AG / TU Clausthal und Prof. Dr. Thomas Hanschke, TU Clausthal

Analyse und Optimierung von Produktions- und Logistikprozessen spezialisiert und verfügt über umfangreiche Erfahrungen in der Umsetzung mathematischer Verfahren in die Praxis und in der beruflichen Weiterbildung. Im Rahmen der Kooperation schreibt die TU Clausthal zwei Promotionsstipendien aus, deren Forschungs-

schwerpunkte jeweils in den Bereichen Luftraum-, Flughafen- und Terminalsimulation liegen. Ziel ist es, diese Simulationsmodelle zur Unterstützung von Management Entscheidungen zu etablieren.

# Fachbuch „Kohlecharakterisierung und Kohleverbrennung“

**Die Kohle ist eine der wichtigsten fossilen Brennstoffe der Welt. Ihre umweltfreundliche Nutzung erfordert jedoch eine perfekte Anpassung der Auslegung und der Betriebsweise der Feuerung an die chemischen, physikalischen und feuerungstechnischen Eigenschaften der verfeuerten Kohle. Professor Dr.-Ing. Jacek Zelkowski, Institut für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik der TU Clausthal, fasst mit dem im Frühjahr 2003 erschienenen Fachbuch „Kohlecharakterisierung und Kohleverbrennung“ seine in den vergangenen 15 gewonnenen Forschungsergebnisse zusammen.**

Das Buch ist für Ingenieure bestimmt, die moderne, umweltverträgliche Kohlefeuerungen betreiben, beziehungsweise einen „optimalen“ Brennstoff für die bestehenden Feuerungen aus

den zur Verfügung stehenden Importkohlen aus aller Welt auswählen wollen.

Das Buch besteht aus drei Teilen. Der erste Teil „Kohle als Brennstoff“ behandelt die Eigenschaften der Kohle und enthält eine Reihe von Diagrammen, in welchen Änderungen von Eigenschaften unterschiedlich inkohlter Kohlen aufgrund von eigenen Untersuchungen und Daten von rund 500 Kohlen aus aller Welt dargestellt sind. Der zweite Teil „Physik und Theorie der Kohleverbrennung“ gibt praxisorientierte, aus den Grundlagen der Theorie der Kohleverbrennung resultierende Erkenntnisse wieder, die einem Praktiker in Bedarfssituationen sowie bei der Auswahl von neuen Brennstoffen helfen können, die richtige Entscheidung zu treffen. Im dritten Teil „Technik der Kohleverbrennung“ wird eine Übersicht der modernen Technik der

Kohleverbrennung sowie der Entstehung und der Minderungsmöglichkeit der Verschlackung und der Stickoxidemissionen gegeben.

Der Band wird von der VGB PowerTech Service GmbH, Essen, als Band 8 der Fachbuchreihe „Kraftwerkstechnik“, herausgegeben, umfasst rd. 500 Seiten, enthält 340 Abbildungen und Tafeln und kostet 150 € für VGB-Mitglieder und 190 € für Nichtmitglieder, jeweils zzgl. Versandkosten und Mehrwertsteuer.

Anschrift des Verlages:

VGB PowerTech Service GmbH  
Klinkestr. 27–31  
45136 Essen  
Fax: 0201 - 81 28 302



# Clausthaler Urzeit-Libelle fliegt für Windgerätehersteller

**„Wer große Flügel hat, macht mehr Beute“ Unter diesem Motto fliegt die Rekonstruktion einer urzeitlichen Libelle nun in einer Werbeanzeige eines großen Windgeräteherstellers, die auch in mehreren überregionalen Tageszeitungen erschienen ist.**

Diese originalgroße Rekonstruktion von Meganeuropsis ist ein Modell des bisher größten bekannten Fluginsekts überhaupt. Eine weitere, knapp halb so große urzeitliche Riesenlibelle namens Namurotypus, von Professor Dr. Carsten Brauckmann, Institut für Geologie und Paläontologie der TU Clausthal, und Dr. Wolfgang Zessin, Zoologischer Garten Schwerin, während einer Grabung in der Ziegelei-Grube in Hagen-Vorhalle im Ruhrgebiet bereits im Jahre 1989 entdeckt, wurde in den vergangenen Jahren anhand weiterer Funde erneut untersucht. Dabei stellte sich etwas äußerst Überraschendes her-

aus: Die heutigen Libellen besitzen offenbar ein Flügelpaar weniger als ihre Urahnen! Das dritte, sehr kleine Flügelpaar, saß, im Unterschied zu den beiden anderen, am vorderen Rumpfabschnitt. „Wahrscheinlich diente es hauptsächlich zur Stabilisierung des Fluges“, vermutet die Clausthaler Paläontologin, Frau Dr. Elke Gröning, die gemeinsam mit Professor Brauckmann die Funde analysierte. „Geschickte Manöver konnte der Urahn der heutigen Libelle wahrscheinlich nicht vollführen; zumal er sich, aufgrund geringerer Muskelkraft als sie heutige Libellen besitzen, ohnehin größtenteils im Gleitflug vorwärts bewegt haben dürfte“, sagte Dr. Günter Bechley vom Staatlichen Museum für Naturkunde in Stuttgart, der gleichfalls an den ►



Ein 315 Millionen Jahre altes Karboninsekt diente als Blickfang einer neuen Anzeige

Forschungen beteiligt war.

Erst im weiteren Verlauf der Evolution entwickelten sich schließlich die für die heutigen Libellen typischen Merkmale – wie die schräg gestellten Rumpfabschnitte, mit denen die Tiere leichter Beute machen, da sie ihre Beine als „Fangkorb“ weiter nach vorne strecken können.

Mit einer kräftigen Muskulatur ausgestattet, sind sie wahre Akrobaten der Lüfte; doch dafür brauchte die Natur die Kleinigkeit von etwa dreihundert Millionen Jahren.

Die Ergebnisse der Gemeinschaftsarbeit Schweizer, Stuttgarter und Clausthaler Wissenschaftler wurden im „Journal of Zoological Systema-

tics and Evolutionary Research“ 2001 veröffentlicht. Nach einer Zeichnung von Frau Dr. Elke Gröning, TU Clausthal, fertigte der Aachener Präparator Werner Kraus das Modell an, welches nun dem Windgerätehersteller Nordex als Blickfang seiner Anzeigenkampagne dient.



# „Laseroptische Minensuchnadel“ soll humanitäre Landminenräumung erleichtern

Zum Patent angemeldetes Verfahren wurde auf der Hannover-Messe vorgestellt

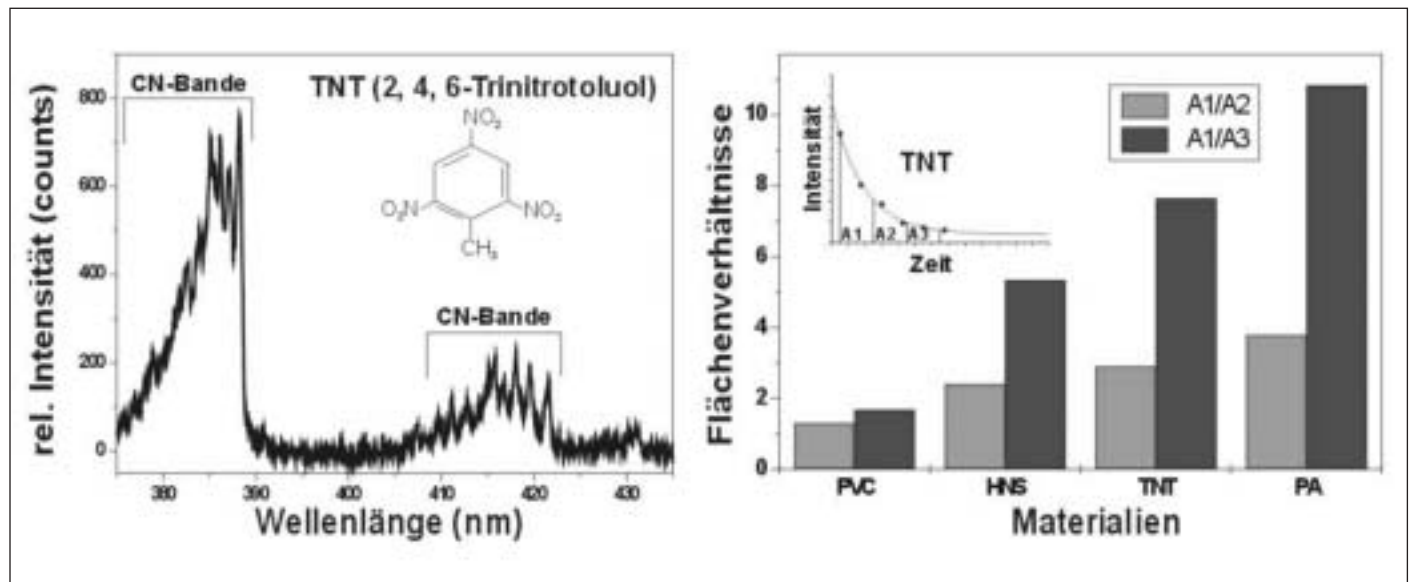
Die Arbeitsgruppe um Professor Dr. Wolfgang Schade vom Institut für Physik und Physikalische Technologien der TU Clausthal stellte auf der diesjährigen Hannover Messe (7.–12. April) in der Halle 18 am Gemeinschaftsstand niedersächsischer Hochschulen eine „Laseroptische Minensuchnadel“ vor. Sie beruht auf miniaturisierter Lasertechnologie in Verbindung mit der laserinduzierten Plasmaspektroskopie (LIBS) und ermöglicht die berührungslose online und insitu Klassifizierung von Explosivstoffen. Das Verfahren ist zum Patent angemeldet.

Die laseroptische Minensuchnadel funktioniert wie folgt: Intensive Laserpulse eines miniaturisierten, passiv-güteschalteten Nd:YAG Mikrochiplasers zünden auf der Oberfläche der zu untersuchenden Probe ein Plasma. In der Plasmawolke liegen die Elemente in ionisierter Form vor. Nach Abschalten des Laserpulses rekombi-

nieren die Elektronen mit den ionisierten Atomen. Dieser Prozess ist mit der Emission von Licht verbunden. In Abhängigkeit von den jeweiligen Plasmabedingungen erstreckt sich die Lichtemission über einen Zeitbereich von einigen Hundert Nanosekunden. Die Anregung unter Atmosphärenbedingungen ist typischerweise mit der Emission von CN (Cyanid) und Kohlenstoff (C) Spektrallinien verbunden. Diese Emissionen werden unmittelbar nach dem Laserpuls über Lichtleiter spektral und zeitlich aufgelöst erfasst. Zur Vereinfachung werden bei dem hier entwickelten Verfahren lediglich die Quotienten aus „frühen“ und „späten“ LIBS-Intensitäten gemessen. Diese Quotienten liefern einen eindeutigen spektroskopischen Fingerabdruck und ermöglichen sowohl die Unterscheidung verschiedener Explosivstoffe als auch die Unterscheidung der Explosivstoffe von Kunststoffen und anderen organischen Materialien.

Der Einsatz miniaturisierter Laser- und Fasertechnologien ermöglicht es, das gesamte System in eine typische Minensuchnadel zu integrieren, so dass ein Minenräumer, der eine derartige „intelligente Minensuchnadel“ verwendet, bei dem „Stochern“ im Boden die optische Zusatzinformation erhält, ob er auf eine Mine oder nur eine Blechdose gestossen ist. Damit leistet diese Entwicklung einen wichtigen Beitrag zur Verringerung des Risikos und der Fehlalarmrate bei dem humanitären Minensuchen und -räumen.

Die Wissenschaftler arbeiten derzeit daran, die Leistung der verwendeten, miniaturisierten Laserlichtquelle weiter zu optimieren, so dass die „laseroptische Minensuchnadel“ auch zum schnellen Durchbohren von Minenhüllen eingesetzt werden kann. Damit ergeben sich grundsätzlich neue Perspektiven für die Bereitstellung eines laseroptischen Verifikationssensors zur Minendetektion, insbesondere in Verbindung ►



Spektroskopischer Fingerabdruck durch Messung „Früher“ und „später“ LIBS-Intensitäten für verschiedene Materialien

mit konventionellen Methoden wie Metalldetektoren und Georadar.

Das Forschungsvorhaben wurde in Zusammenarbeit mit dem Wehrwissenschaftlichen Institut für Werk-, Explosiv- Betriebsstoffe (WIWEB) der Bundeswehr und der Firma Systekum GmbH aus Flensburg entwickelt.

Weitere Informationen:

Prof. Dr. Wolfgang Schade  
Technische Universität Clausthal  
Institut für Physik und Physikalische Technologien  
Abteilung Angewandte Photonik  
Leibnizstraße 4  
38678 Clausthal-Zellerfeld  
Tel. 05323-72-2061  
Fax: 05323-72-3600  
eMail: [wolfgang.schade@tu-clausthal.de](mailto:wolfgang.schade@tu-clausthal.de)  
Internet: <http://www.pe.tu-clausthal.de/AGSchade/index.html>

## Hintergrundwissen, Stichwort Landminen:

Nach Schätzungen der Vereinten Nationen existieren weltweit etwa 60–70 Millionen Minen in über siebzig Ländern; eine Hinterlassenschaft vieler Kriege, durch welche monatlich etwa 2000 Menschen verstümmelt oder getötet werden. Die Räumung der Minen ist extrem gefährlich, derzeit liegt die Rate bei einem Unfall pro 1000–2000 Minen. Für das Aufspüren von Minen werden heute in erster Linie Stocherstäbe sowie Metalldetektoren und Spürhunde eingesetzt; allein in Afghanistan würde die Räumung von Minen beim gegenwärtigen Räumfortschritt von etwa 20.000 Minen pro Jahr und geschätzten 10 Millionen verlegten Minen noch etwa 500 Jahre dauern.

Weltweit werden daher Anstrengungen unternommen, die Menschheit von der Geißel der

Landminen nun nach deren im Jahr 1997 ausgesprochenen weltweiten Ächtung schneller und mit einer geringeren Fehlalarmrate zu befreien. Hierfür werden u.a. biologische Nachweissysteme, Infrarot- und Mikrowellensensoren und Georadarverfahren eingesetzt.

Weitere Informationen im Internet:

<http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/vvv/2001/elektrotechnik/10/10.pdf>  
<http://www.unu.edu/unupress/heiberg.html>

# Computersimulationen und Modellbildung für das Wachstum von Polymeren

Seit zehn Jahren kooperieren sie in ihren wissenschaftlichen Forschungen miteinander, rund 20 Veröffentlichungen haben sie gemeinsam publiziert; nun ist Dr. Aleksander L. Owczarek aus Melbourne in Australien wieder zu Gast bei Dr. habil. Thomas Prellberg im Institut für Theoretische Physik. Seine weiteren Stationen in Europa sind London und Oxford in Großbritannien; dann geht es wieder zurück auf den fünften Kontinent. Ihr gemeinsames Forschungsgebiet ist das Studium sogenannter kritischer Phänomene beim Wachstum von Polymeren.

Polymere, allgemein auch Kunststoffe genannt, setzen sich aus einzelnen Bausteinen, den Monomeren, zusammen, aus denen sie in einer kettenförmigen Anordnung zusammenwachsen. Als kritische Phänomene gelten u.a. die Haftung (Adsorption) an Oberflächen, die Voraussetzungen, welche das Wachstum steuern, und das Verklumpen von Polymeren (Koagulation). Dr. Prellberg und Dr. Owczarek haben zum Einen in den letzten zehn Jahren sich intensiv damit auseinander gesetzt, mit welchen mathematischen Modellen diese Phänomene am passendsten beschrieben werden können. Hierbei konnten sie für einige Teilfragen analytische Lösungen angeben, und zum Anderen konnten sie mathematische Beweise liefern für die Annahmen, welche



Zu Gast im Insitut für Theoretische Physik bei Dr. habil. Thomas Prellberg (li.) Dr. Aleksander L. Owczarek aus Melbourne, Australien

den Dimensionierungsfragestellungen, vom Labor- zum Technikumsmaßstab, zugrunde liegen. Sie entwickelten Algorithmen, die das Wachstum von ganz wenigen Kettengliedern bis zu mehreren Tausenden Kettenmolekülen beschreiben. Im nächsten Jahr werden Dr. Prellberg und Dr. Owczarek auf einer internationalen Konfe-

renz im kanadischen Banff in den Rocky Mountains einen Workshop zu dieser Thematik anbieten.



# Hochwasserschutz in Vietnam und Deutschland

**Für den 13. und 14. März luden Dr. Tran Trong Hue, der Direktor des Instituts für Geologische Wissenschaften am Nationalen Zentrum Vietnams für Naturwissenschaften und Technologie, und Professor Dr. Andreas Weller vom Institut für Geophysik der TU Clausthal zu einer Arbeitstagung nach Hanoi ein, die sich mit der Überwachung der Sicherheit von Deichen befasst.**

Über mehr als 5000 Kilometer erstrecken sich die Deiche an den Ufern des Roten Flusses in Vietnam. An vielen Stellen kämpfen die Behörden mit Leckagen und mechanischen Instabilitäten; das Hochwasser dringt durch aufgeweichtes Deichmaterial, oder es schießt in Fontänen an

der Landseite auf, wenn es sich durch den Deichuntergrund einen Weg bahnen konnte. In manchen Landstrichen Vietnams ist der Lebensraum so beengt, dass sogar die Deichflanken bebaut werden. Die Auflast der Häuser führt zu Rissen in der Deichkrone. Ein weiteres Problem sind Termitennester, Löcher im Innern der Deiche sind die Folge. Zum Aufspüren dieser Hohlräume hat Professor Dr. Andreas Weller mit seinem langjährigen vietnamesischen Partner, Dr. Tran Canh, geoelektrische Verfahren eingesetzt. Für oberflächennahe, große Hohlräume funktioniert das Verfahren bereits gut. Im Rahmen eines gemeinsamen, von der Volkswagen Stiftung geförderten Projektes soll das Verfahren

weiter entwickelt werden, um auch Termitennester in größerer Tiefe lokalisieren zu können.

„Deutschland hat in den letzten Jahren leidvolle Erfahrungen mit den Folgen von Hochwasser gewinnen müssen. Daher wollten wir bei dieser Tagung mit den vietnamesischen Praktikern vor Ort, Vertretern deutscher Ingenieurbüros und Wissenschaftlern aus Geologie, Geographie, Geotechnik und Geophysik die Probleme der Deiche in Vietnam und Deutschland erörtern und gemeinsam nach Lösungsansätzen zur Überwachung und Beurteilung deren Zustandes suchen“, sagte Professor Dr. Weller zur Zielsetzung der Fachtagung.



# Neue Möglichkeiten der Materialanalyse durch hochenergetische Synchrotronstrahlung

**Hochenergetische Synchrotronstrahlung ist ein neues, sehr vielseitiges Instrument zur Materialanalyse und der zerstörungsfreien Prüfung von Werkstoffen aller Art. Von einer Arbeitsgruppe der TU Clausthal, der Universität Göttingen und des HASYLAB Hamburg wurden spezielle Methoden zur Orientierungsabbildung des Werkstoffinneren entwickelt. Die neuen Techniken wurden in einem internationalen Workshop im April 2003 in Hamburg vorgestellt.**

Seit der Entdeckung der Beugung von Röntgenstrahlen durch Friedrich, Knipping und von Laue im Jahre 1912 hat sich die Röntgenfeinstrukturanalyse zu einer unverzichtbaren Methode der Materialuntersuchung entwickelt.

Insbesondere wird sie benutzt um:

- den atomaren Aufbau unbekannter Stoffe aufzuklären (Strukturanalyse)
- die Volumenanteile verschiedener Phasen in Stoffgemischen zu bestimmen (Phasenanalyse)
- innere Spannungen in Werkstoffen und Werkstücken zu ermitteln (Spannungsanalyse)
- Orientierungsverteilungen der Kristallite und Richtungsabhängigkeiten von Werkstoffeigenschaften zu analysieren (Texturanalyse)

Als Strahlungsquelle standen dafür bisher

hauptsächlich Röntgenröhren zur Verfügung. Sie liefern „charakteristische“ Strahlungen mit Wellenlängen um  $1\text{\AA}$  herum ( Längeneinheit:  $10^{-10}$  Meter, benannt nach dem schwedischen Physiker Anders Jonas Ångström, 1814–1874). Diese relativ „weichen“ Röntgenstrahlen dringen in die meisten Materialien nur etwa  $0,1\text{ mm}$  tief ein. Die eigentlichen Stoffuntersuchungen finden daher nur in einer dünnen oberflächenschicht dieser Größenordnung statt, von der man dann auf den gesamten Werkstoff oder das gesamte Werkstück schließen muß. Eine Strahlungsquelle ganz anderer Art ist das Synchrotron. Es liefert „weiße“ Röntgenstrahlen sehr hoher Intensität, die bisher ebenfalls im „weichen“ Bereich am  $1\text{\AA}$  herum zur Verfügung standen. Erst seit einigen Jahren kann man hochenergetische, harte Synchrotronstrahlung mit Wellenlängen in der Größenordnung von  $0,1\text{\AA}$  mit genügender Intensität erzeugen. Eine solche Strahlquelle steht am Strahlrohr BW5 im Hamburger Synchrotronstrahlungslabor HASYLAB am Deutschen Elektronen Synchrotron DESY zur Verfügung. Verglichen mit der konventionellen Röntgenstrahlung aus Röntgenröhren besitzt diese hochenergetische Synchrotronstrahlung eine Reihe hervorragender Eigenschaften,

die neue Untersuchungsmöglichkeiten in den Materialwissenschaften eröffnen.

Das sind insbesondere:

- Die Eindringtiefe der Strahlung in praktisch allen Materialien beträgt mehrere Zentimeter, vergleichbar mit Neutronen. Das erlaubt die direkte Untersuchung des Werkstoffinneren massiver oder gekapselter Proben oder ganzer komplexer Baugruppen.
- Extrem hohe Strahlparallelität im Bereich von einigen Hundertstel Grad. Das erlaubt Texturanalysen mit höchstem Winkelauflösungsvermögen, z.B. in HTc-Supraleiter Schichten oder Einzelkornauflösung.
- Die Strahlintensität ist mehr als tausendfach höher als bei Röntgenröhren. Das erlaubt sehr kurze Belichtungszeiten, z. B. zur Untersuchung der Prozesskinetik oder zur schnellen zerstörungsfreien Inspektion von Werkstücken.
- Es können extrem feine Strahlquerschnitte im Bereich einiger Mikrometer ausgeblendet werden. Das erlaubt eine orts aufgelöste Materialanalyse, z. B. die Messung lokaler Texturen infolge inhomogener Umformprozesse oder Gefügeanalysen (Orientierungsstereologie) im Werkstoffinneren.

## Strömungsmechanik an der TU Clausthal wieder besetzt

**Die C3-Professur der Strömungsmechanik am Institut für Technische Mechanik wurde am 30.01.2003 mit der Ernennung von Dr.-Ing. Gunther Brenner durch den Vizepräsidenten für Studium und Lehre, Professor Dr. Thomas Hanschke, wieder besetzt.**

Professor Brenner, geboren im Jahre 1962 in Gießen, studierte nach dem Abitur Maschinenbau an der TH Karlsruhe (1981–1987) und wechselte für sein Promotionsvorhaben an das Institut für Strömungslehre der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Göttingen (1988–1994). Dort wirkte Dipl.-Ing. Gunther Brenner an der Weiterentwicklung numerischer Simulationsverfahren für aerothermodynamische Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, u.a. am Hermes-Projekt, mit. An der RWTH Aachen wurde er im Jahr 1994 mit einer Arbeit über die „Numerische Simulation der Wechselwirkung zwischen Stößen und Grenzschichten in chemisch reagierenden Hyperschallströmungen“ promoviert.

Im Anschluss ging Dr.-Ing. Gunther Brenner als Stipendiat der Europäischen Gemeinschaft an das „Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique“ (CERFACS) in Toulouse und befasste sich mit der direkten numerischen Simulation turbulenter Strömungen.

1995 wurde er Gruppenleiter im Bereich „Numerische Strömungsmechanik“ am Lehrstuhl für Strömungsmechanik der Universität



Prof. Dr. Thomas Hanschke ernannte als Vizepräsident für Studium und Lehre im Kreis der neuen Kollegen Dr.-Ing. Brenner zum Professor für Strömungsmechanik

Erlangen. Dort gehörte die Akquise und Koordinierung technisch-wissenschaftlicher Projekte sowie die Anleitung von Doktoranden und Stipendiaten zu seinen Aufgabengebieten.

Seit dem Jahr 2000 leitete er zudem die Geschäftsstelle des Projektes KONWIHR (Kompetenznetzwerk für Technisch Wissenschaftliches Höchstleistungsrechnen in Bayern) in Erlangen.

Der Luftfahrt ist Professor Brenner auch pri-

vat verbunden; so war er während seiner Studienzeit Mitglied der Akademischen Fliegergruppe an der TH Karlsruhe und erwarb den Privatpilotenschein für Segel- und Motorflugzeuge. Die Aufrechterhaltung der Lizenz war mit der intensiven beruflichen Anspannung nicht mehr vereinbar. So will er sich im Harz beim Segeln auf der Okertalsperre erholen und er spielt Klavier und Saxophon. Professor Brenner hat Familie und ein Kind. ■

# Juniorprofessur in der Wirtschaftswissenschaft – Unternehmensrechnung und internationale Rechnungslegung

**Mit Dr. Henning Zülch wurde im November 2002 der erste von insgesamt sieben Juniorprofessoren an der TU Clausthal ernannt. Professor Dr. Zülch verstärkt den Bereich der Wirtschaftswissenschaften um den Bereich der Unternehmensrechnung und hier insbesondere um den Bereich der Internationalen Rechnungslegung.**

„In Europa ansässige kapitalmarktorientierte Unternehmen werden ab dem Jahre 2005 dazu verpflichtet, ihre Konzernabschlüsse nach internationalen Rechnungslegungsnormen, und zwar den International Financial Reporting Standards (IFRS) aufzustellen. Wollen kapitalmarktorientierte Unternehmen also langfristig für ihre

derzeitigen und auch für potentiellen Investoren attraktiv bleiben oder werden, so war dieser Übergang auf internationale Rechnungslegungsregeln nur folgerichtig. Eine Sogwirkung für mittelständische Unternehmen ist zu erwarten. Alles in allem stehen wir vor einer neuen Ära der Rechnungslegung. In den vergangenen Jahren befasste ich mich mit einem Spezialgebiet dieser neuen Rechnungslegungsnormen, nämlich der Bilanzierung von Immobilien, die zu Finanzanlagezwecken gehalten werden. Besonderes Augenmerk legte ich dabei auf die Zeitwertbewertung derartiger Immobilien, welche auf internationaler Ebene propagiert wird. Da die Entwicklungen auf der europäischen Rech- ▶



Prof. Dr. Henning Zülch

nungslegungsebene nunmehr in vollem Gange sind, und um zu einem raschen Ende zu gelangen, gibt es hier noch viel Diskussionsbedarf“, erklärt Professor Zülch zu seinem Forschungsgebiet.

Damit begleitet Professor Zülch forschend den Prozess der Globalisierung. Im vergangenen Jahrzehnt versechsfachten sich die Finanzströme der Anleihen und Aktientransaktionen nach Deutschland hinein und hinaus; und damit waren sie im Jahre 1998 3,5 Mal so groß wie die in diesem Jahr erwirtschaftete Wertschöpfung in Deutschland in Höhe von 2 Billionen Euro. Die Veränderungen auf den internationalen Kapitalmärkten sind eines der stärksten Kennzeichen der Globalisierung. Mit der Berufung von Professor Zülch können die Studierenden der Wirtschaftsmathematik, Wirtschaftsinformatik und des Wirtschaftsingenieurwesens noch intensiver an dieses wichtige Feld des heutigen Wirtschaftsgeschehens herangeführt werden.

Geboren 1973, studierte Professor Zülch im Anschluss an seinen Zivildienst in einer Behindertenwerkstatt in Dortmund (Juli 1992-Sep-

tember 1993) an der Universität Münster Betriebswirtschaftslehre und legte nach zehn Semestern sein Examen ab. Zum 1. Oktober 1998 trat er in die ERNST & YOUNG Deutsche Allgemeine Treuhand AG, Niederlassung Ruhrgebiet, ein, welche als Wirtschaftsprüfungs- und Steuerberatungsgesellschaft tätig ist. Im halbjährlichen Wechsel zwischen Praxis und Wissenschaft arbeitete Henning Zülch bei ERNST & YOUNG und als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Professor Dr. Dr. h.c. Jörg Baetge am Institut für Revisionswesen der Universität Münster. Im Mai vergangenen Jahres promovierte Herr Zülch an der Universität Münster. Zum Wintersemester 2002/2003 stand er nun selbst im Hörsaal als Professor. Ihn reizt die große Herausforderung so früh schon Verantwortung zu übernehmen. Hohen Leistungsanforderungen hat er sich mehrfach erfolgreich gestellt: Ein schnelles Studium und anschließend der hohe Disziplin erfordernde Spagat zwischen Aufgaben im Unternehmen und denen an der Universität. Geboren in Dortmund, aufgewachsen und verwurzelt in der Mentalität des Ruhrgebiets, hebt

Professor Zülch trotz seines steilen Aufstiegs nicht ab. „Drei Jahre habe ich Zeit, dann beginnt die nächste Bewerbungsphase. In maximal fünf Jahren muss mir durch herausragende Publikationen der Absprung auf eine Professur gelingen“, analysiert Professor Zülch nüchtern seine Perspektiven.

Mit dem Instrument der Juniorprofessur strebt die Politik an, „jungen hochqualifizierten Nachwuchswissenschaftlern und Nachwuchswissenschaftlerinnen größere Entwicklungsmöglichkeiten zu eröffnen, als sie in der bisherigen Personalstruktur der Hochschulen bestehen“, erklärte die Bundesforschungsministerin Edelgard Bulmahn im April 2000 anlässlich der Übergabe des Berichts der Expertenkommission zur Reform des Hochschuldienstrechts. So sieht sich Professor Zülch als Vorreiter für kommende Wissenschaftlergenerationen. Den direkten Praxisbezug wird Professor Zülch auch an der TU Clausthal pflegen; gemeinsam mit seinem ehemaligen Arbeitgeber, ERNST & YOUNG, beabsichtigt Professor Zülch Seminare für mittelständische Unternehmer anzubieten. ■



# Juniorprofessur in der Kunststofftechnik besetzt

**Dr.-Ing. Lars Frormann wurde am 30.01.2003 durch den Präsidenten der TU Clausthal, Professor Dr. Ernst Schaumann, zum Juniorprofessor ernannt. Sein Fachgebiet ist die Kunststofftechnik.**

Professor Frormann wird tätig am Institut Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik. Frormann wurde 1968 in Bielefeld geboren und absolvierte 1985 nach dem Realschulabschluss eine Lehre als Mechaniker bei den Dürkopp Werken in Bielefeld; nach sieben Monaten beruflicher Tätigkeit entschloss er sich, das Abitur nachzuholen.

Er entdeckte den Sport der japanischen Schwertkampfkunst Iaido für sich. Im Sommer 1990 ging er nach Japan für eine Ausbildung zum Iaido-Lehrer.

Ab dem Wintersemester 1990 bis 1996 studierte Lars Frormann Kunststofftechnik an der Universität GH Paderborn und ging anschließend für drei Jahre an das Thüringische Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V.

Im März 1999 setzte Dipl.-Ing. Frormann seinen beruflichen Weg als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Clausthal am frisch gegründeten Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik bei Professor Dr.-Ing. Ger-

hard Ziegmann fort, wo er im April vergangenen Jahres promovierte. Im August letzten Jahres wurde Dr.-Ing. Frormann Ressortleiter Technik am Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V.

„Wir wissen es sehr zu schätzen, dass Sie nach dem erfolgreichen Berufsstart in der Industrie bereit waren, an die TU Clausthal zurückzukeh-

ren und sich auf das Wagnis einer Juniorprofessur einzulassen“, sagte der Präsident. „Sie haben unser volles Vertrauen und unsere Unterstützung, dass dieser Schritt für Sie und die Clausthaler Kunststofftechnik ein Erfolg wird“, sagte Schaumann.



Im Präsidium: (v.l.n.r.) Prof. Dr. Ernst Schaumann, Prof. Dr.-Ing. Lars Frormann, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Ziegmann

# Ltd. Bibliotheksdirektor a. D. Dr. Hans-Oskar Weber gestorben

**Am 29.11.2002 verstarb in Göttingen der Ltd. Bibliotheksdirektor a. D. Dipl.-Bibliothekar Dr. theol. Hans-Oskar Weber wenige Tage vor Vollendung seines 83. Lebensjahres. Er war vom 1. Mai 1971 bis zu seiner Pensionierung am 31. Januar 1984 Leiter der Universitätsbibliothek Clausthal.**

Hans-Oskar Weber wurde am 2. Dezember 1919 in Kassel geboren, wo er auch die Reifeprüfung ablegte. Seinem Berufswunsch folgend, Bibliothekar zu werden, leistete er zunächst ein sechsmonatiges Volontariat an der Landesbibliothek Kassel ab, ehe er am 1. Oktober 1938 als Bibliotheksanwärter in die Universitätsbibliothek Göttingen eintrat. Die Einberufung zum Heeresdienst im August 1939 unterbrach seine Ausbildung. Dr. Weber blieb bis Kriegsende Soldat und wurde schwer verwundet. Während eines Prüfungsurlaubs bestand er 1943 die Prüfung für den gehobenen Dienst an wissenschaftlichen Bibliotheken (Dipl.-Bibl.) an der Preußischen Staatsbibliothek in Berlin.

Nach dem Kriege studierte Dr. Weber evange-

lische Theologie in Göttingen. Das Studium schloss er 1952 mit dem 1. theologischen Examen und der Promotion ab. Danach trat er in den höheren Bibliotheksdienst des Landes Niedersachsen ein, wurde Bibliotheksreferendar in Göttingen und legte in Köln 1954 die Fachprüfung als Assessor des Bibliotheksdienstes ab. Es folgte bis 1965 die Tätigkeit im höheren Dienst in Göttingen als Abteilungs- und Ausbildungsleiter – zunächst als Bibliotheksassessor, dann als Bibliotheksrat.

Als das Land Niedersachsen 1965 beschloss, der Niedersächsischen Landesbibliothek Hannover eine Bibliotheksschule für die theoretische Ausbildung der Dipl.-Bibliothekare anzugliedern, erhielt Dr. Weber den Auftrag, sie aufzubauen, als Studienleiter zu leiten und die Geschäftsführung der Ausbildungsbehörde zu übernehmen.

Am 1. Mai 1971 trat Dr. Weber sein neues Amt als Bibliotheksdirektor an der TU Clausthal an; 1974 wurde er Ltd. Bibliotheksdirektor. In dieser Eigenschaft war er Mitglied des Niedersächsischen Beirats für Bibliotheksangele-

genheiten und von 1976 bis 1978 dessen Vorsitzender. Der Ausbildung des bibliothekarischen Nachwuchses blieb Dr. Weber weiterhin treu durch Weiterführung seiner Lehrtätigkeit und Mitgliedschaft im Prüfungsausschuss für den gehobenen Dienst an wissenschaftlichen Bibliotheken an der Niedersächsischen Bibliotheksschule bis 1981 und Fortführung der entsprechenden bereits seit dem Jahre 1956 bestehenden nebenamtlichen Tätigkeit am Evangelischen Bibliothekar-Lehrinstitut in Göttingen bis 1972 sowie 1977 und 1978.

Zusätzlich zur Leitung der Bibliothek übernahm Dr. Weber an der TU Clausthal weitere Aufgaben. Er wurde 1972 zum Leiter des Außeninstituts bestellt und war nach dessen formeller Auflösung Senatsbeauftragter für die Vortragsveranstaltungen. Er war Mitglied der Senatskommission für die Geschichte der TU Clausthal, und für die Vorbereitungsarbeiten zur 200-Jahrfeier wurde ihm die Geschäftsführung übertragen. 1972 übernahm er einen Lehrauftrag für Bibliothekswissenschaft, den er bis zu seinem Eintritt in den Ruhestand ausübte. ■

# Pastor i. R. Hans Burose gestorben

**Am 19. Januar 2003 verstarb in Hahnenklee wenige Wochen nach Vollendung des 93. Lebensjahres Pastor i. R. Hans Konrad Otto Burose. Er war Inhaber der Karl-Schnabel-Gedenkmedaille, mit der er wegen seiner besonderen Verdienste um die Technische Universität Clausthal am 21. Februar 1976 ausgezeichnet worden war.**

Hans Burose wurde am 27. November 1909 in Grasdorf bei Hannover geboren. Er besuchte das Realgymnasium Humboldtschule in Hannover-Linden und bestand dort 1929 die Reifeprüfung. Anschließend studierte er Theologie an den Universitäten Jena, Tübingen und Göttingen. Die theologischen Examen legt er 1934 und 1936 ab. Es folgte die Tätigkeit als Hilfsgeistlicher in Hannover-Herrenhausen und ab 1939 als Pastor in Staffhorst Krs. Nienburg. Nach der Teilnahme am 2. Weltkrieg von 1939 bis 1945 wurde Hans Burose im Dezember 1948 Pastor in Wietzen bei Nienburg, wo er bis Mai 1961 blieb. Zum 1. Juni 1961 erfolgte die Abordnung nach Clausthal-Zellerfeld zur wissenschaftlichen Aufarbeitung und Katalogisierung der Calvörschen Bibliothek. Diese Aufgabe führte Burose über

seine Versetzung in den Ruhestand am 1. Januar 1968 hinaus weiter.

Hans Burose begann seine Arbeit in der Zellerfelder St.-Salvatoris-Kirche, dem angestammten Platz der Calvörschen Bibliothek. Nach Abschluss eines Depositionalvertrages zwischen der Landeskirche Hannovers, der Kirchengemeinde Zellerfeld und dem damaligen Niedersächsischen Kultusministerium zog er im Oktober 1963 mit den Büchern in die neuerrichtete Bibliothek der Bergakademie Clausthal um, wo er dann mehr als dreißig Jahre tätig war.

Mit bewunderungswürdigem Einsatz und bemerkenswerter Akribie hat sich Hans Burose seiner Arbeit der Katalogisierung gewidmet. Das Ergebnis war ein dreibändiger Katalog, dessen alphabetischer Teil digitalisiert werden konnte, so dass heute auch ein Zugriff über das Internet möglich ist.

1970 wurde Hans Burose vom Rektor der TU Clausthal in die Geschichtskommission zur Vorbereitung der Zweihundertjahrfeier berufen und mit dem Forschungsvorhaben „Vor- und Frühgeschichte der Clausthaler Hochschule“ betraut. Die Ergebnisse seiner mit großer Sorgfalt durch-

geführten Studien sind im ersten Band der Festschrift zur Zweihundertjahrfeier im Jahre 1975 veröffentlicht worden.

Fast siebzig Veröffentlichungen sind von Hans Burose erschienen, die meisten in den Zeitschriften „Allgemeiner Harz-Berg-Kalender“ und „Der Anschnitt“. Die Calvörsche Bibliothek, ihr Stifter und einzelne ihrer Werke, der Bergbau und hervorragende Bergleute sowie die Geschichte der Clausthaler Hochschule sind vor allem die Themen, mit denen er sich befasste. Neben der Darstellung zur Entwicklung der Bergschule sind insbesondere seine Geschichte der Zellerfelder Münze und die Beschreibung des von Rudolf Nickel geschaffenen Professorenstuhls in der Aula der Technischen Universität zu nennen. Für Burose selbst hatte die letzte Veröffentlichung „Caspar Calvör 1650–1725“ aus dem Jahre 1996 eine besondere Bedeutung, da er mit ihr seine Arbeit über Calvör und die Calvörsche Bibliothek zum Abschluss bringen konnte.



# Dr.-Ing. Urs Alexander Peuker zum Juniorprofessor ernannt



Bei der Ernennung (v.l.n.r.): Prof. Dr.-Ing. U. Hoffmann, Institut für Chemische Verfahrenstechnik, Prof. Dr. E. Schaumann, Präsident, Prof. Dr.-Ing. U. A. Peuker, Dr. P. Kickartz, Vizepräsident für Rechtsangelegenheiten, Dirk Wieczorek, Verwaltung.

Weit gespannte Interessen bewies Professor Peuker schon in der Schulzeit. Er wählte in der Oberstufe die Leistungskurse Physik und Geschichte, und mit dem Abiturzeugnis (Durchschnittsnote 1,4) wurde er für seine Leistungen im Fach Geschichte mit der „Franz-Schnabel-

Medaille“ ausgezeichnet.

Vom Wintersemester 1991/92 bis zum Sommersemester 1997 studierte er Chemieingenieurwesen an der TH Karlsruhe. Im August 1997 begann er seinen beruflichen Weg als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mecha-

nische Verfahrenstechnik und Mechanik der TH Karlsruhe und wurde im Sommer vergangenen Jahres bei Professor Dr.-Ing. Werner Stahl mit einer Arbeit über die „Beeinflussung der Zentrifugalentfeuchtung durch die Aufgabe von Dampf“ promoviert.

Während dieser Jahre bearbeitete er drei größere Forschungsvorhaben. Deren Ergebnisse dokumentierte er in elf Beiträgen für anerkannte Fachzeitschriften; nahezu in jährlichen Rhythmus trug er auf großen internationalen Tagungen, unter anderem in Sydney, Boston und Davos, vor.

Eine Juniorprofessur ist auf sechs Jahre befristet; falls ihm Zeit für seine Hobbies bleibt, findet er als Segler und Skifahrer mit dem Bootshaus der Universität an der Okertalsperre und den Langlaufloipen im Oberharz ideale Voraussetzungen.

Professor Peuker ist verheiratet und Vater eines Kindes. Der montanistische Hintergrund der heutigen TU Clausthal ist ihm familiär nicht unvertraut; sein Vater war Bergmann im manskfeldischen Kupferschieferbergbau, bevor er in den Westen floh und Mathematiker wurde.

Die Universität hieß ihn mit der Ernennung durch den Präsidenten, Professor Dr. Ernst Schaumann, und der Begrüßung durch Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hoffmann, Institut für Chemische Verfahrenstechnik, und Dr. Peter Kickartz, Vizepräsident für Personal und Finanzen, herzlich willkommen.

# Theoretische Physik erhält mit Juniorprofessor Dr. Tom Kirchner Verstärkung

**Dr. Tom Kirchner wurde im März zum Juniorprofessor ernannt. Professor Kirchner ist Theoretischer Physiker und kommt vom Heidelberger Max-Planck-Institut für Kernphysik an die TU Clausthal.**

Sein Arbeitsfeld ist die theoretische Beschreibung zeitabhängiger Vielelektronenprozesse.

Diese Fragestellung nimmt eine zentrale Stellung ein in der theoretischen Beschreibung verschiedener physikalischer Probleme, wie etwa beim Zusammenstoß schwerer Partikel oder bei

der Wechselwirkung intensiver Laserfelder mit Materie, seien es Atome, Moleküle oder Cluster.

Die Kunst der Theoretischen Physik besteht darin, ein Problem jeweils so zu vereinfachen, dass es lösbar wird – und dennoch durch die Vereinfachung nicht die Ähnlichkeit mit der realen Fragestellung verliert.

Nun gelten für die atomare und die makroskopische Welt üblicherweise zwei verschiedene Modellierungsebenen, die so genannte klassische, Newtonsche Physik großer Objekte darf das Plancksche Wirkungsquantum vernachlässi-



Prof. Dr. Tom Kirchner – sein Arbeitsfeld ist die theoretische Beschreibung zeitabhängiger Vielelektronenprozesse ▶



gen; bei den genannten Streuprozessen wird daher das auftreffende Ion oder das intensive Laserfeld als ein klassische „Umgebung“ der atomaren Welt beschrieben, welche Energie auf die Elektronenwolke überträgt. In dieser Modellierung muss sodann die zeitabhängige Schrödinger-Gleichung gelöst werden, und das ist, wenn viele Elektronen an dem Streuprozess beteiligt sind, mathematisch nicht trivial.

Der Theoretische Physiker hilft sich wiederum mit einer Vereinfachung: Die gegenseitige Beeinflussung der an dem Prozess beteiligten vielen Elektronen wird auf die Interaktion vieler, je

einzelner, separater Elektronen mit einem gemeinsamen effektiven Potential zurückgeführt. Hier kommt die so genannte Dichtefunktionaltheorie zum Einsatz, welche am Institut für Theoretische Physik von Professor Dr. Peter Blöchl für die Computersimulation von Festkörperprozessen eingesetzt wird; Professor Kirchner ergänzt jetzt sehr gut diese Kompetenz um Kenntnisse und Beiträge zur zeitabhängigen Dichtefunktionaltheorie in der Beschreibung von Streuprozessen (Ion-Ion-Stoß, Ion-Atom-Stoß, Elektronentransfer) und in der Analyse der Wechselwirkung von Laserfeldern mit Ma-

terie. Viele Fragen sind noch offen: So ergeben sich aus der Theorie für viele Messgrößen bisher nur (recht einschneidende) Näherungen; das sind einige der Aufgaben, die Professor Kirchner in Clausthal angehen will.

Professor Kirchner wurde 1970 in Bad Homburg geboren, studierte nach dem Zivildienst an der Universität in Frankfurt am Main Physik (1990–95) und promovierte 1999 am dortigen Institut für Theoretische Physik bei Professor Dr. R. M. Dreizler. Als Postdoktorand ging er danach an das Institut für Physik und Astronomie der Universität York in Toronto. ■

# Vorstellung Professor Endres

Zum Januar dieses Jahres trat Herr Priv.-Doz. Dr. Frank Endres die Professur für „Extraktive Metallurgie“ am Institut für Metallurgie der TU Clausthal an. Professor Endres wurde 1966 geboren, nach seinem Zivildienst studierte er von 1988–1993 Chemie an der Universität des Saarlandes und promovierte dort 1996 bei Professor Dr. Günter Schwitzgebel mit einer Arbeit über die „Elektrochemie von Ionen- und elektro-nenleitenden Kompositen aus Molybdänwasser-stoffbronze/Polyethylen und Polypyrrol/Nafion“. Ziel war, eine künstliche Membran herzustellen, mit der die artifizielle Photosynthese realisiert werden könnte. Die prinzipielle Durchführbarkeit konnte gezeigt werden. Im Prinzip könnte es also einmal gelingen, Sonnenlicht in technisch nutzbarem Maßstab in chemische und elektrische Energie umzuwandeln. Im Hinblick auf die begrenzten Rohstoffvorräte der Erde könnte es in Zukunft notwendig sein, solche alternativen Wege konsequenter zu beschreiten, meint Professor Endres.

Nach seiner Promotion wechselte Professor Endres an die Universität Karlsruhe und wandte sich am Institut für Physikalische Chemie einem anderen Feld der Grundlagenforschung zu, und zwar der Abscheidung nanokristalliner Metalle und Halbleiter aus ionischen Flüssigkeiten. Ionische Flüssigkeiten basieren auf organischen Kationen und organischen oder anorganischen Anionen, und ihre Schmelzpunkte liegen per definitionem unter 100°C. Die wichtigsten Systeme sind bei Raumtemperatur wasserklare Flüssigkeiten, und neben kaum messbaren Dampfdrücken selbst bei erhöhten Temperaturen zeichnen sie sich durch sehr weite elektrochemische Fenster von bis zu 6 Volt aus. Gerade letztere Eigenschaft ist für die elektrochemische Grundlagenforschung von hohem Interesse, wenn man das vergleichsweise enge elektrochemische Fenster von Wasser, das thermodynamisch betrachtet nur etwa 1.2 Volt beträgt, betrachtet. Während aus Wasser nur vergleichsweise edle Elemente abgeschieden werden können, erlauben

ionische Flüssigkeiten den elektrochemischen Zugang zu einer Vielzahl unedler Metalle und Halbleiter, wie z.B. Titan, Aluminium, Germanium, Silizium u.a.

Ionische Flüssigkeiten eröffnen somit den Zugang zur elektrochemischen Abscheidung einer Vielzahl von unedlen Elementen. Aluminium und Titan, in nanokristalliner Form auf einer technischen Oberfläche abgeschieden, bestehen fast nur noch aus Korngrenzen. So kann sich deren Härte im Vergleich zu mikrokristallinen Materialien beträchtlich erhöhen, des Weiteren ist die Korrosionsresistenz oft erheblich höher. Wege zur elektrochemischen Abscheidung dieser Elemente in nanokristalliner Form auf einem weichen oder korrosionsanfälligeren Grundwerkstoff zu finden, könnte für Anwendungen von hohem Interesse sein.

Elektrochemisch hergestellte Halbleiter wie Silizium und Germanium aber auch Verbindungshalbleiter könnten nanokristallin im Computer der Zukunft in Nano-Transistoren oder Nano-Dioden zum Einsatz kommen. Ein wesentlicher Vorteil einer elektrochemischen Routine ist, dass im Vergleich zu Ultrahochvakuumtechniken solch ein Prozess erheblich einfacher geführt werden könnte. Schon heute werden auf einigen Mikroprozessoren die Kupferkontakte und Interkonnektoren in einer elektrochemischen Routine aufgebracht. Professor Endres hält es für möglich, dass in der Zukunft ein Chip zu größeren Teilen elektrochemisch aufgebaut werden könnte. Um dieses Ziel zu erreichen, sind grundlegende Untersuchungen notwendig. Insbesondere müssen die elektrochemischen Prozesse auf der Nanometerskala verstanden werden. Für diese Zwecke unentbehrliche Werkzeuge sind die Rastersondentechniken, mit denen die Prozesse an der Grenzfläche Elektrode/Elektrolyt teilweise sogar mit atomarer Auflösung verfolgt werden können. Es ist keineswegs trivial, Rastersondentechniken für die in situ Beobachtung der Abscheidung einer nanokristallinen Schicht aus einer ionischen



Prof. Dr. Frank Endres

Flüssigkeit einzusetzen, erfordert es häufig doch ein Arbeiten unter Schutzgas, wobei der Wasser- und Sauerstoffgehalt unter zwei ppm liegen muss. Professor Endres konnte als erster zeigen, dass mit dem Rastertunnelmikroskop die Prozesse auf der Nanometerskala mit sehr hoher Qualität verfolgt und die Strukturen in situ charakterisiert werden können.

Professor Endres sieht sich als Grundlagenforscher, der überzeugt ist, dass nur durch eine solide Grundlagenforschung neue Wege für die Technologie eröffnet werden können. Nur durch die prinzipielle Aufklärung naturgesetzlicher Zusammenhänge können der Technik und Industrie Türen zu neuen Technologien aufgestoßen werden, und zwar von der Automobilindustrie bis zur Informationstechnik.

Im vergangenen Sommer habilitierte sich Professor Endres an der Universität Karlsruhe für das Fach „Physikalische Chemie“ mit der Arbeit „In situ STM Untersuchungen zur elektrochemischen Phasenbildung aus ionischen Schmelzen: Metall- und Halbleiterabscheidung auf der Nanometerskala“. Fast zeitgleich erhielt er den Ruf an die Technische Universität Clausthal.

# Professor Wagner – neuer Lehrstuhlinhaber: Angewandte Werkstoffkunde und Werkstofftechnik

**Der TU Clausthal ist es gelungen, den Lehrstuhl-inhaber für Metallkunde und Werkstofftechnik der Technischen Universität Cottbus für die Clausthaler C4-Professur für Angewandte Werkstoffkunde und Werkstofftechnik zu gewinnen. Am 30. Oktober vergangenen Jahres hieß ihn die Universität mit der Ernennung durch den Präsidenten, Professor Dr. Ernst Schaumann, willkommen.**

Professor Wagner studierte Maschinenbau an der Ruhr-Universität Bochum (WS 72/73-WS 77/78) und wurde 1981 am Institut für Werkstoffe der Ruhr-Universität Bochum mit einer Doktorarbeit über den „Einfluss von Kugelstrahlen auf das Ermüdungsverhalten hochfester Titanlegierungen“ promoviert.

Mit dem Feodor-Lynen Forschungsstipendium der Alexander von Humboldt Stiftung

ging er für anderthalb Jahre (Dez. '81–Juni '83) als Gastwissenschaftler an die Universität von Rochester in den USA. Seine Habilitation erwarb Wagner 1989 an der TU Hamburg-Hamburg. Das Thema der Habilitationsschrift war die „Mikrorissausbreitung in hochfesten Titan- und Aluminiumlegierungen“.

Professor Wagner ist Vorstandsmitglied der Deutschen Materialwissenschaftlichen Gesellschaft (DeMaWiG), Vorsitzender im Fachausschuss Mechanische Oberflächenbehandlungen der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM), wissenschaftliches Mitglied im International Committee on Shot Peening und im TMS Committee on Titanium. Er ist Mitherausgeber der Zeitschrift „International Journal of Materials and Product Technology“.



Prof. Dr. Wagner



# Eine Stütze des Instituts für Anorganische und Analytische Chemie – Prof. Dr. Wolfgang Brockner

Mit Ablauf des Monats Januar trat Professor Dr. Wolfgang Brockner in den Ruhestand. Bei seiner Verabschiedung im Präsidium der TU Clausthal durch den Präsidenten, Prof. Dr. Ernst Schaumann, schlug ihm eine Woge der Sympathie aus dem Kreise der Kollegen und Mitarbeiter aus dem Institut für Anorganische und Analytische Chemie entgegen. Professor Brockner, der im Jahre 1968 als Assistent von Professor Dr. Werner Bues aus Tübingen mit nach Clausthal kam und nach der Promotion im Jahre 1970, trotz verlockender Angebote aus der Industrie, „hier hängen blieb, weil es mir so gut gefiel“, wie er erzählte, war über drei Jahrzehnte ein Pfeiler der Kontinuität im Institut für Anorganische und Analytische Chemie.

Dr. Frank Menzel hat ihm in der Erstsemesterbroschüre „Studieren in Clausthal“ mit der folgenden Charakterisierung ein „Denkmal“ gesetzt:

„Gleich am ersten Tag sollten wir einen ordentlichen Professor kennenlernen. Statt eines unnahbaren Halbottes wurden wir von einem

sehr sympathischen Herrn aufs Herzlichste begrüßt, der sehr menschlich erschien; mit einem Loch im Pullover und selbstgemachter Zigarette in der Hand. Am erstaunlichsten für uns Neulinge aber war die Einladung: „Wenn Sie Fragen haben oder Hilfe brauchen, kommen Sie doch einfach vorbei.“

Während des langjährigen „Interregnums“ zwischen den Lehrstuhlinhabern für die Anorganik, Professor Dr. Stumpp und Professor Dr. Adam, war es Professor Brockner, der die Lehre in diesem Bereich aufrechterhielt.

In seiner Forschung befasste Professor Brockner sich in den letzten Jahren vorwiegend mit der Archäometrie, das heißt der chemischen Analyse mittelalterlicher Schlackenfunde des Harzes. Noch hat er einige Publikationen in Vorbereitung und so hofft er, die Zahl „200“ zu erreichen.



Professor Dr. Wolfgang Brockner ( dritter von rechts) mit der langjährigen Institutssekretärin, Frau Reante Poga (zweite von rechts), Dr. Karl-Heinz Elsenhans, (rechts außen) und Prof. Dr. em. Eberhard Stumpp und Frau Chemotechnikern Grete Höxer bei der Verabschiedung im Präsidium.

# Hohe Ehrung für Prof. Dr. Müller

Bundesverdienstkreuz für einen renommierten Wissenschaftler, der gradlinig seinen Weg ging

*Oliver Stade, Goslarische Zeitung*

**Prof. Dr. Müller hat sich als Wissenschaftler von internationalem Renommee stets auch für seine Alma Mater und die Geschichte des Oberharzes und Clausthal-Zellerfelds interessiert. Für sein vielfältiges Engagement erhielt er am 20. Dezember 2002 von Landrat Kopischke das von Bundespräsident Rau verliehene Verdienstkreuz am Bande des Verdienstordens.**

In einer Feierstunde im Rathaus, an der die Familie, Freunde und Repräsentanten der TU teilnahmen, zeichnete Kopischke den Lebenslauf eines Wissenschaftlers nach, der in Clausthal-Zellerfeld heimisch geworden ist. 1970 war Müller in den Oberharz gekommen, um den Lehrstuhl für Mineralogie, Petrographie und Lagerstättenkunde zu übernehmen. Später wurde er zum Direktor des mineralogischen Instituts ernannt.

## In Demo eingereicht:

Die TU habe Müller viel zu verdanken, sagte der Landrat in seiner Würdigung. Der Wissenschaftler, der 1930 in Luckau in der Niederlausitz

geboren wurde, stand von 1985 bis 1996 als Rektor und Prorektor an der Spitze der Uni.

„Gradlinig“ nannte Kopischke den Karriereweg Müllers – damit könnte auch sein Charakter umschrieben werden. Müller, von dem Wegbegleiter sagen, er lasse sich nicht verbiegen, scheute sich nicht, sich als einziger Professor der TU in einen Protestzug gegen die Hochschulpolitik der Albrecht-Regierung einzureihen. „Gradlinig“ – dazu passt auch, dass der zurückhaltend auftretende 72-Jährige ein Buch über die TU im Dritten Reich verfasste, das ihm, wie Samtgemeindebürgermeister Lampe bemerkte, nicht nur Beifall einbrachte.

Müller gehört einer Generation an, die den Zweiten Weltkrieg miterleben musste und unter den Folgen schwer zu leiden hatte. Bei Kämpfen um Berlin wurde der Heranwachsende verwundet, ein sowjetisches Militärtribunal verurteilte ihn zu Gefängnis- und Lageraufenthalt. Erst 1955 kehrte er in die Freiheit zurück. 1956 und '57 besuchte Müller einen Spätheimkehrer-Lehrgang zur Reifeprüfung. In Göttingen studierte er anschließend Mineralogie und promovierte 1962, an der Uni Kiel habilitierte er sich 1966.



Verdienstkreuz für Prof. Dr. Müller und Blumen für seine Ehefrau Ute vom Landrat Peter Kopischke.

Foto: Funke.

## Über 100 Fachaufsätze

Müller gilt als äußerst produktiv in seinem Schaffensdrang. Er ist Autor mehrerer Fachbücher, von denen einige in fremde Sprachen übersetzt wurden, und verfasste mehr als 100 Publikationen. Dank seiner Reputation wurde der Vater zweier Kinder Mitglied in nationalen ►



und internationalen Wissenschaftsgesellschaften. Die TU Bergakademie Freiberg verlieh ihm auf Grund seiner Verdienste für ihre Erneuerung und Umgestaltung 1995 den Titel eines Ehrendoktors. Und die TU Clausthal verlieh ihm im vorigen Jahr den Titel eines Ehrensensors.

Samtgemeindebürgermeister Lampe und TU-Präsident Prof. Dr. Schaumann würdigten Müllers Wirken für die Uni und für die Stadt. Lampe sagte, ihre Arbeiten „haben die Stadt interessanter und beliebter gemacht“.

Der Geehrte blieb bescheiden und erklärte die

Motivation für sein umfassendes Engagement: Dank. Er empfinde Dank für ein Land, das es ihm ermöglichte, das Abitur nachzuholen und zu studieren.



# Carl-Hermann-Medaille an Prof. (em.) Dr. Dr. h.c. Hans-Joachim Bunge

Professor (em.) Dr. Dr. h.c. Hans-Joachim Bunge wurde am 10. März von der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie auf deren Jahrestagung in Berlin für sein wissenschaftliches Lebenswerk mit der Carl-Hermann-Medaille ausgezeichnet. Sie verlieh die Medaille „in Anerkennung seiner richtungsweisenden Arbeiten auf dem Gebiet der Texturforschung, insbesondere für die Entwicklung theoretischer Methoden und innovativer experimenteller Verfahren zur Ermittlung der Orientierungsverteilungsfunktion vielkristalliner Materialien und für ihre Anwendung in der quantitativen Texturanalyse.“

Auch nach seiner Emeritierung im Jahre 1997 ist Professor Bunge wissenschaftlich aktiv und führt derzeit am HASYLAB in Hamburg ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziertes Projekt durch. Sein Arbeitsgebiet ist heute auf die Texturforschung mit harter Synchrotronstrahlung konzentriert.

Professor Bunge wurde 1929 in Zerbst bei Dessau geboren. Nach dem Abitur im Jahre 1946 absolvierte er zunächst eine Feinmechanikerlehre. 1947 nahm er das Physikstudium an der Martin-Luther-Universität in Halle auf. Im Jahre 1955 promovierte er mit der Dissertation „Die Magnetische Anisotropie von kaltgewalzten Eisen-Nickel-Legierungen“. Seither war die Kristalltextur vielkristalliner Werkstoffe sein Forschungsgebiet. Der Begriff Textur stammt aus dem Lateinischen (*textura*) und heißt wörtlich „Gewebe“. Seine heutige Definition geht auf den Clausthaler Werkstoffwissenschaftler Professor Wassermann zurück, der die Textur definierte als die „Gesamtheit der Orientierungen der Kristalle eines vielkristallinen Werkstoffs.“

Bergleuten und Mineralogen fiel schon früh die Textur einiger Gesteine auf. So besteht beispielsweise Glimmer aus parallel angeordneten, blättrigen Schichten. Dünne Platten lassen sich allein mit dem Fingernagel aus dem Gestein lösen und abspalten. Generell gilt: Die Vorzugsorientierungen der Kristallite in einem Werkstoff bestimmen in vielen Fällen deren mechanische, thermische, elektrische oder magnetische Eigenschaften. Je nach der Ausrichtung der Kristallite nehmen Werkstoffe an Elastizität zu oder ab, werden plastisch verformbarer oder spröde, um nur zwei texturabhängige Werkstoff-

eigenschaften zu nennen. Die Orientierung der Kristallite eines metallischen Werkstoffes kann u.a. durch die Art der Umformung (Walzen, Drahtziehen) oder durch Glühprozesse (Rekristallisation) gezielt variiert werden.

Ein Ziel der materialwissenschaftlichen Forschung der vergangenen fünfzig Jahre ist es daher, zum Einen die Ausgangs- und Endtextur eines Materials vor und nach der die Textur verändernden Behandlung möglichst genau zu erfassen, und zum Anderen zu verstehen, wie sich die ermittelte Richtungsverteilung der Kristallite auf die makroskopischen Eigenschaften des Werkstoffes auswirkt. Den technologischen Durchbruch erlangte die Texturforschung bereits 1935 mit der Entwicklung von so genannten Trafoblechen. Durch geeignete Walz- und Wärmebehandlungen lassen sie sich in Walzrichtung leichter magnetisieren. Legt man also die Hauptrichtung des magnetischen Flusses in Walzrichtung, so erreicht man eine erhebliche Verringerung der Ummagnetisierungsverluste. Die technische Anwendung findet sich heute in allen Transformatoren; mit einer enormen Energieeinsparung als erwünschtem Effekt.

Nach seiner Promotion arbeitete Hans-Joachim Bunge am Institut für Kristallstrukturforschung der Deutschen Akademie der Wissenschaften der DDR in Berlin und widmete sich Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der Textur, so insbesondere der Beugung von Röntgenstrahlen am Vielkristall (1955–1968). 1968 kehrte er an das Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstoffwissenschaften der Deutschen Akademie der Wissenschaften nach Dresden zurück. Die vielversprechende Karriere als Wissenschaftler in der DDR wurde abrupt beendet, als er mit seiner Frau Helga und dem Sohn Hans-Peter 1974 durch Flucht der staatlichen Indoktrination zu entrinnen suchte. Der Versuch scheiterte. Sie wurden über ein Jahr getrennt voneinander inhaftiert. 1975 wurden die Familie Bunge von der Bundesregierung als politische Häftlinge freigekauft. Von 1975 bis 1976 ermöglichte ihm ein Stipendium der Deutschen Forschungsgemeinschaft Forschungsaufenthalte bei Prof. Dr. G. Wassermann in Clausthal und bei Prof. Dr. R. Wenk in Berkeley in Kalifornien. 1976 wurde Dr. Bunge als Nachfolger von Prof.

Dr. G. Wassermann als Professor und Institutsdirektor an das Institut für Metallkunde und Metallphysik der TU Clausthal berufen.

Professor Bunge kann auf ein außerordentlich erfolgreiches wissenschaftliches Lebenswerk zurückblicken. 1965 gelang es ihm – und zeitgleich, aber unabhängig davon R.J. Roe in den USA – eine der größten Herausforderungen in der quantitativen Texturanalyse zu lösen: Bei der „Polfigurinversion“ wird aus der zweidimensionalen, experimentell gemessenen Poldichteverteilungen mittels Reihenentwicklung die dreidimensionale Orientierungs-Dichteverteilungsfunktion (ODF) ermittelt. Das Verfahren weist prinzipielle Ähnlichkeiten mit der heute so populären Computertomographie auf; die Polfigurinversion erfolgt aber nicht in dem der Anschauung leicht zugänglichen Realraum, sondern im abstrakteren Orientierungsraum. 1969 veröffentlichte er das grundlegende Werk „Mathematische Methoden der Texturanalyse“, das in Fachkreisen noch heute als die „Bibel“ dieses Arbeitsgebietes gilt. Professor Bunge ist Autor oder Herausgeber von weiteren zehn Büchern über quantitative Texturanalyse und anisotrope Materialeigenschaften. Er hat über 420 Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Tagungsbänden veröffentlicht.



Gegenwärtig führt Prof. Dr. Bunge Experimente zur Texturanalyse mit harter Synchrotronstrahlung durch: „Das Strahlrohr BW5 im HASYLAB ist so etwas wie „Aladins Wunderlampe“ für dieses Arbeitsgebiet.“

# Professor Mühlenfeld trat in den Ruhestand

Professor Dr. Ing. Eike Mühlenfeld, Institut für Elektrische Informationstechnik, trat in den Ruhestand. Er kam – über die Stationen, Studium und Promotion (1967) an der TH Hannover, wissenschaftlicher Tätigkeit an der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen (1963) und am Institut für Schwingungsforschung in Tübingen (1964) sowie ab 1967 am Institut für Informationsverarbeitung der Fraunhofer-Gesellschaft in Karlsruhe – im Jahre 1976 an die TU Clausthal.

Sein Fachgebiet ist die Mess- und Automatisierungstechnik, deren Bedeutung in allen Bereichen der Technik in den vergangenen zwei Jahrzehnten stetig gestiegen ist. Der Grund hierfür liegt auf der Hand: Technische Systeme und die auf ihnen ablaufenden Prozesse werden immer komplexer. Um diese Prozesse im Hinblick auf Material- und Energieverbrauch, Umweltbelastung und wirtschaftlichen Nutzen optimal zu führen, müssen Zusammenhänge zwischen sehr vielen Mess- und Stelldaten ausgewertet werden. Ein Forschungsgebiet der Automatisierungstechnik ist die Entwicklung von Expertensystemen. Sie sollen den Ingenieur bei der alltäglichen Arbeit unterstützen und entlasten. Die Steuerung solcher Systeme funktioniert – im Idealfall

– auf der Basis mathematischer Gleichungen. Können aber die zugrundeliegenden Zusammenhänge nicht in dieser Weise „auf den Punkt“ gebracht werden, dann behelfen sich sogenannte Automaten damit, dass sie Meß- und Regelungsgrößen nach dem Schema des Reflexes, im menschlichen Umfeld etwa dem (unterdrückten) „Aua-Rufen“ beim Tanzen, miteinander verknüpfen. Oft sind die Signalwerte aber in der Technik nicht so eindeutig. Sie werden überlagert von Störgrößen. Oft reicht eine isolierte Tatsache allein zur Beurteilung des Systemzustandes nicht aus. Dann müssen Ketten von Fakten gebildet werden. Ein automatisiertes System soll Ketten solcher (technischer) Wahrnehmungen erfassen, und sie, nach Wahrscheinlichkeiten gewichtet, möglichen Betriebszuständen zuordnen.

Professor Mühlenfeld konnte in den Jahren seines Hierseins u.a. ein trainierbares Expertensystem (TXPS) entwickeln, das zuverlässig Gussteile in beliebiger Lage auf einem Förderband erkennt. Das System kann auch eingesetzt werden, um den Verbrennungsprozess in einer Anlage bei wechselnder Brennstoffzusammensetzung zu regeln. Es dient auch zur Verbesserung von Spracherkennungssystemen.



(v. l. n. r.) Prof. Dr.-Ing. Norbert Müller, Frau Mühlenfeld, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Konigorski, Prof. Dr.-Ing. Eike Mühlenfeld

Das dynamisch wachsende Lehr- und Forschungsfeld der Mess- und Automatisierungstechnik vertrat Professor Mühlenfeld erfolgreich an der TU Clausthal. Dafür galt ihm anlässlich seiner Verabschiedung der Dank des Institutes, des Fachbereiches und des Präsidenten Professor Dr. Ernst Schaumann.

# Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. h.c. Walter Knissel verabschiedet

Professor Dr.-Ing. Dr.-Ing. h.c. Walter Knissel, Institut für Bergbau, wurde vom Präsidenten der TU Clausthal, Professor Dr. Ernst Schaumann, in den Ruhestand verabschiedet. In den Jahren 1987–1989 war Knissel Dekan der Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen und von 1991–1993 Prorektor und Rektor der Universität. Die TH Aachen zeichnete ihn 1965 mit der Borchers-Plakette aus, die TU Miskolc ehrte ihn im Jahre 1992 mit der Verleihung der Ehrendoktorwürde.

Professor Knissel kam nach dem Abschluss des Bergbaustudiums (1961) und der Promotion (1964) an der TH Aachen aus der Position des Betriebsdirektors des Steinkohlenbergwerkes Sophia Jacoba in Hückelhoven im Jahre 1974 an die TU Clausthal. Sein Fachgebiet war die bergbauliche Verfahrens- und Betriebslehre. Die damit verbundenen Fragestellungen reichen von der untertägigen Mineralgewinnung, über den Schacht- und Hohlraumbau und den Entsorgungsbergbau, bis hin zur EDV-gestützten Bergbauplanung.

Stellvertretend für die Doktorarbeiten, welche Professor Knissel in den Jahren betreute, seien einige der Fragen aus jüngster Zeit genannt: Welche Baustoffe kommen für Dammbauwerke in einem Endlager hochradioaktiver Abfälle im Salz in Frage? Treten beim Zusammenwirken von Elektrofilterstäuben aus der Müllverbrennung, die in immobilisierter Form als Abfall- und Reststoffe in Bergwerke verbracht werden, mit dem umgebenden Wirtgestein im Kontaktbereich chemische und mineralogische Effekte auf? Wie sollte die Sprengarbeit in einem chinesischen Steinkohlenbergwerk geplant werden? Mit welchen Massnahmen kann ein ehemaliges Industriegelände, bei erheblichen Boden- und Grundwasserverunreinigungen, einer neuen Nutzung zugeführt werden, und dies mit gesicherter Qualität und langfristig kostenoptimal?

Fernerhin pflegte Professor Knissel internationale Kontakte in Forschung und Lehre, so u.a. mit der Bergbau-Hochschule in Fuxin, der heutigen Lioning Universität, zu welcher die TU Clausthal seit 1980 eine Partnerschaft unterhält.



Bei der Verabschiedung im Präsidium: (v. l. n. r.) Frau Knissel, Prof. Dr.-Ing. Hans-Jörg Barth, Prof. Dr.-Ing. Walter Knissel, Prof. Dr.-Ing. Helmut Mischo, Prof. Dr.-Ing. Klaus Kühn, Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Busch, Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld

# „Ein polyglotter und weltläufiger Industriemann mit beachtlicher Hochschullehrerkarriere“

Zum Abschied von Prof. Dr. Gerhard R. Joubert

Professor Dr. Gerhard R. Joubert kam im Jahr 1990 vom Forschungszentrum der Philips AG in Eindhoven für das Fachgebiet der „Praktischen Informatik“ an die TU Clausthal. Am 1. Februar verabschiedete er sich von seiner letzten akademischen Wirkungsstätte nach einem erfolgreichen Berufsleben in Industrie und Forschung; noch zwei Doktoranden betreut Professor Joubert in Clausthal, seine Vorlesungen wird er vorerst auch weiterhin halten. „In zwei Monaten nun werden sie uns verlassen haben und viele große und schmerzliche Lücken werden sich auftun, die, wenn überhaupt, nur schwer zu schließen sein werden“, sagte Professor Dr. Wilfried Lex, der stellvertretend für die Clausthaler Informatik sprach. Mit dem Ausscheiden aus dem aktiven Hochschullehrerdienst der TU Clausthal finde Jouberts Leben sicher nicht seinen krönenden Abschluss, sondern werde in vergleichbarer Dynamik weitergeführt werden, vermutete Lex.

Professor Dr.-Ing. Hans-Peter Beck, Vizepräsident der TU Clausthal, setzte den Lebensweg Jouberts in Beziehung zur Entwicklung seines späteren Fachgebiets: Geboren 1937 im südafrikanischen Stellenbosch, nahm Gerhard Joubert im Jahre 1954 sein Mathematikstudium auf; der Transistor, das Grundelement des heutigen Computers, war gerade sieben Jahre zuvor in den USA erfunden worden. Im Jahr seiner Promotion, 1969, vollzog sich die „Hochzeit zwischen Hardware und Software, die zum Mikrorechner führte.“ Im Jahre 1971 wurde Gerhard Joubert Professor für „Computer Science“ an der Universität von Pretoria.

Als Arbeitsgebiete der jungen, stürmisch wachsenden Disziplin der Informatik wählte sich Professor Joubert über die Jahre hinweg die Bildverarbeitung, die Parallelverarbeitung, das Software-Engineering und die Entwicklung von Multimedia-Systemen. Die Alexander von Humboldt-Stiftung lud ihn insgesamt vier Mal zu Forschungsaufenthalten an die Universität Hamburg bei Professor Kollatz und in das Philipps Forschungslabor in Hamburg ein. Von dort trat Gerhard Joubert im Jahr 1982 in das Forschungslabor der Philipps AG in Eindhoven ein, welches zum Sprungbrett an die TU Clausthal, die vorerst letzte Wirkungsstätte, wurde.

„In einer Zeit, in welcher der Zeitgeist eher auf Spaltung, Wettbewerb und Ökonomisierung setzt, sind Verbündete, die an einem Strang – in dieselbe Richtung – ziehen, immer willkommen. Und als solch ein Kollege, lieber Herr Joubert, bleiben Sie mir in Erinnerung“, sagte Professor Beck.

Die Forschungen seiner Arbeitsgruppe, oftmals auf der CeBit präsentiert, fanden lebhaftes Interesse in der Industrie. Das, u.a. von Dr. Guido Falkemeier, entwickelte System zur automatisierten Erkennung von Bildsequenzen fand seine Einzugs in das tägliche Arbeitshandwerk der Redakteure bei RTL. Vorreiter war Jouberts Arbeitsgruppe auch bei der Einführung vom Multimedia-CD-ROMs (Dr. Silke Lechtenberg), und, als vorerst letzter Wachstumsspitze, in der Erkennung von Bildelementen vor verschiedenen Hintergründen (Prof. Dr. Odej Kao, heute Universität Paderborn).

An der TU Clausthal war Professor Joubert Mitbegründer des Informationstechnischen Zentrums, eines Zusammenschlusses von Professoren aus den Ingenieurwissenschaften und der Informatik.

Den Menschen und Kollegen Gerhard Joubert ließ, in einigen wenigen „Marginalien“, Wilfried Lex aufscheinen. „Als er vor nunmehr einem Dutzend Jahren zu uns kam, war das Institut einmal mehr in einem Zustand, den ein Pessimist hätte mit Dantes Worten charakterisieren können: „Lasciate ogni speranza, voi ch'entrate!“. Aber Herr Joubert ließ nicht alle Hoffnung fahren, sondern krepelte die Ärmel hoch und packte an. Die anfängliche Skepsis dem routinierten, polyglotten und weltläufigen Industriemann gegenüber wich bald schon einer gewissen Achtung, die sich wiederum schnell in Hochachtung, sogar ehrliche Wertschätzung wandelte, brachte der Neuling zudem ja nicht nur wertvolle Industrieerfahrungen mit, sondern auch die ganze Empirie einer beachtlichen Hochschulkarriere. Natürlich haben wir uns anfänglich über seine „Action points“ lustig gemacht, die inzwischen jedoch zu einer wohl etablierten und hilfreichen Stütze unseres Institutsalltags geworden sind“, sagte Professor Lex. Der Südafrikaner hugenottischer Provinienz sei ihm oft wie ein Preuße im besten Sinne des Wortes vorgekommen: Aufrichtig, tapfer, ehrenvoll, pünktlich, ordentlich, bienenfleißig und pflichtbewußt. Seine angelsächsische Prägung habe sich nicht in dem Umstand offenbart, das Herr Joubert „einen Handschlag – gleichgültig von



Prof. Dr. Joubert mit seiner Gattin

wem – immer noch als ein ganz ungehöriges, aufdringliches und penetrantes Eindringen in seine private Intimsphäre empfinde. Er weise ein tiefeingewurzelter Demokratieverständnis auf. „Er mauschelt nicht: das Gremium selbst ist der Ort, wo man mit rationalen Argumenten überzeugt, allenfalls noch überredet. Auch ist er stets darauf bedacht, Dinge, die andere betreffen oder bei denen diese eigentlich mitzureden hätten, auch mit diesen zu erörtern, zumindest ihre Meinung zu erfragen.“

Seine Schüler, Dr. Silke Lechtenberg und Professor Dr. Odej Kao, führten durch die Veranstaltung, Hanno Lotz am Flügel setzte die musischen Glanzlichter, von Sergej Rachmaninoffs Prelude Opus 23, No. 7 bis zu den Jazz „Gassenhauern“ „Misty“ von Elliot Garner und „The Girl from Ipanema.“

Professor Joubert leitete sein persönliches Fazit im Rückblick auf vierzig Jahre Entwicklung der Informatik mit dem zehnten Vers des Predigers ein: „Gibt es ein Ding, von dem einer sagt, Siehe, das ist neu? Längst ist es gewesen für die Zeitalter, die vor uns gewesen sind.“ Ob dies seine Richtigkeit habe für die Informatik, fragte Joubert. Die Frage erwies sich schnell als eine rhetorisch gemeinte. Quantencomputer und Chips in Nanometerabmessungen werden in den kommenden vierzig Jahren die Leistungen der „künstlichen Intelligenz“ in einer Weise verändern, die uns heute noch unvorstellbar sei; nur so viel sei gewiß: Wir leben am Vorabend einer neuen Epoche der Informationstechnik und diejenigen seien zu beglückwünschen, die an ihr mitwirken werden. ■



# Vom Montanrevier zum Krisengebiet – Oberharz 1910–1933

Helmut Radday, Clausthal-Zellerfeld



Der Brand des Johanneser Untersuchungsschachtes im Januar 1930 erschien in der Rückschau wie ein schlechtes Vorzeichen, von der "Todesfackel des Oberharzer Bergbaus" wurde gesprochen, denn nur drei Monate später verhandelte man über die Schließung der Clausthaler Bergwerke, die dann im gleichen Jahr noch erfolgte. Foto: Archiv Oberharzer Bergwerksmuseum.

*Vom Montanrevier zum Krisengebiet. Niedergang, Perspektiven und soziale Wirklichkeit im Oberharz 1910–1933. Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum, Nr. 110. Montanregion Harz, Bd. 4. ISBN 3-921533-94-5. 347 Seiten. Zahlreiche Tabellen, Grafiken, Abbildungen, € 24,80.*

In kurzer Folge und seit 2001 sind in der vom Deutschen Bergbau-Museum Bochum begründeten Schriftenreihe „Montanregion Harz“ bereits fünf Bände erschienen, herausgegeben von Christoph Bartels, Karl Heinrich Kaufhold und Rainer Slotta. In ihnen finden die Ergebnisse des vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur von 1997 bis 2001 finanzierten und von Karl Heinrich Kaufhold koordinierten Forschungsschwerpunktes zur Harzer Montangeschichte ihren Niederschlag.

Mit der als Band 4 erschienenen Arbeit ist Claudia Küpper-Eichas im Jahre 2001 am Institut für Wirtschafts- und Sozialgeschichte der Georg-August-Universität Göttingen promoviert worden. Sie war als Historikerin am Oberharzer Bergwerksmuseum Clausthal-Zellerfeld beschäftigt und ist dort zur Zeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Rahmen eines Projektes tätig.

Mit ihrer Arbeit schließt Claudia Küpper-Eichas eine Lücke in der Literatur über eine ent-

scheidende Phase der Oberharzer Geschichte. Die Auswirkungen der von ihr akribisch untersuchten Krisensituation, die in der Stilllegung des Bergbaus im Clausthaler Revier im Jahre 1930 ihren Höhepunkt fand, sind bis heute in der strukturellen wirtschaftlichen Schwäche der Oberharzer Gemeinden zu spüren. Es ist das Verdienst dieser Arbeit, sich nicht auf den engen, nur auf den Bergbau bezogenen Bereich beschränkt zu haben, sondern die für die Existenzsicherung der Oberharzer Bevölkerung in der Krisenphase wichtigen Erwerbszweige/Nebenerwerbszweige in die Untersuchung einbezogen zu haben.

Es entsteht ein Bild komplexer Wechselwirkungen zwischen dem für den Oberharz über Jahrhunderte genuin bedeutendsten Wirtschaftsfaktor Bergbau und den bereits vor dem ersten Weltkrieg erkennbaren Bemühungen zur Schaffung von Ersatzstrukturen in der Phase des Niedergangs.

Geografisch erfasst die Arbeit den ehemaligen Landkreis Zellerfeld, der mit den „freien Bergstädten“ einen Verwaltungsbezirk ganz eigener Prägung bildete und sich in vielfältiger Hinsicht von allen anderen Landkreisen Niedersachsens unterschied. Kapitel 2 der Arbeit führt in die Besonderheiten der Wirtschafts- und Verwaltungsstruktur des Landkreises Zellerfeld ein, in dem es z.B. noch in den 1920er Jahren „neben

den fiskalischen Montanunternehmen nur kleine und mittlere Betriebe, vor allem aus dem Bereich der Holzverarbeitung“ gab. Damit, so wird dem Leser unmittelbar deutlich, war die Krise und Stilllegung des Bergbaus gleichsam vorprogrammiert.

Im dritten Kapitel geht die Verfasserin auf die Entwicklung des Bergbaus und Hüttenwesens im Oberharzer Revier ein und beschränkt sich (klugerweise!) darauf, die Linie lediglich bis in das 19. Jahrhundert zurückzuverfolgen. Spannend zu lesen ist, in welcher Weise sich die Weltwirtschaftskrise auf das Montanrevier Oberharz auswirkte. Durch zahlreiche Tabellen und Grafiken gewinnt man eine sehr konkrete Vorstellung von Weltmarktpreisen, von der Position Deutschlands unter den Blei und Zink fördernden Ländern und von den sozialen Verhältnissen der Bergarbeiterbevölkerung. Für den Untersuchungszeitraum von 1910–1933 werden die Quellen im Hinblick auf die Arbeitsverhältnisse (Arbeitszeit, Löhne etc.) auch im Vergleich mit anderen Montangebieten ausgewertet, und es bestätigt sich die bereits in Kapitel 2 im Vergleich zum Reichsdurchschnitt festgestellte geringere Entlohnung der Harzer Bergleute.

Die schließlich in den Jahren 1930/31 folgenden Betriebsstilllegungen stehen letztlich im Mittelpunkt der Arbeit von Claudia Küpper-Eichas. Wie ein Menetekel hatten sie sich z.B. in den Stilllegungen des Bergbaus in St. Andreasberg (1910) und in der Stilllegung der Altenauer Hütte (1911) bereits angekündigt, aber die Entscheidung zur Einstellung des Bergbaus in Clausthal-Zellerfeld kam, wie es in der Chronik des Jahres 1930 im Allgemeinen Harzbergkalender für das Jahr 1931 hieß „... wie ein wuchtiger Keulenschlag auf die Betroffenen, ...“. Strenge Wissenschaftlichkeit einerseits und menschliche Anteilnahme andererseits kennzeichnen die Darstellung in diesem Abschnitt. In seiner Überschrift „Das letzte Glückauf“ (Seite 112) schwingt mehr mit als nur die betriebswirtschaftlich nüchterne Feststellung von der Stilllegung aller Gruben.

Gab es Alternativen für die Region? Die Verfasserin zitiert in Kapitel 5 zu Recht aus der Denkschrift von Landrat Curtze aus dem Jahre 1928, in der dieser von „Großen Mengen Druckerschwärze, Tinte und Papier“ spricht, mit denen im Oberharz Hoffnungen gemacht worden seien. Die Denkschrift enthält die lakonische Feststellung: „–und dabei ist es geblieben!“ Parallele zu heute?

Die von der Verfasserin mit großer Sorgfalt ausgewerteten und bisher kaum bekannten Quellen spiegeln die geradezu verzweifelten Versuche der Oberharzer Bevölkerung und der für sie zuständigen Verwaltung (Landkreis Zel- ▶

lerfeld), der Strukturkrise zu begegnen. Intensivierung der Landwirtschaft (unter den klimatischen Bedingungen im Oberharz!), Fremdenverkehr, Straßenbau, Waldarbeit, Torfgewinnung, Holzverarbeitung, Holzindustrie etc. – nahezu alle Bereiche bis hin zu so kuriosen Plänen, wie Seidenraupenzucht, werden als Möglichkeit zur Krisenbewältigung vorgeschlagen und von Claudia Küpper-Eichas anhand der Quellen dargestellt.

Richtig gesehen wird von der Verfasserin, dass die Pläne zum Talsperrenbau, wie überhaupt wasserwirtschaftliche Maßnahmen, die in der Literatur bisher vorwiegend unter dem Aspekt des Hochwasserschutzes und der Energiegewinnung betrachtet worden sind, in den Zeiten der Krise (1910–1933) aus der Sicht der Oberharzer Bevölkerung auch als Arbeitsplatzbeschaffungs-Maßnahme (heute ABM) verstanden worden sind.

Dass eine „Notgesellschaft“ für radikale Strömungen in der Weimarer Republik anfällig sein würde, scheint zunächst plausibel. Verfasserin geht in der Darstellung und Beurteilung der

„politischen Strömungen und Auseinandersetzungen im Oberharz 1918–1933“ auf die Besonderheiten der lokal/regionalen Entwicklung ein und stellt diese in den Zusammenhang der politischen Entwicklung in Deutschland. Auf den gegenwärtigen historischen Forschungsstand hinweisend wird am Beispiel des ehemaligen Landkreises Zellerfeld klar, dass die NSDAP auch in traditionell sozialdemokratischen Domänen Mehrheiten erzielen konnte, wenn sie „vollmundig“ eine Bewältigung der wirtschaftlichen Notsituation versprach.

Es ist gut zu wissen, dass der Forschungsschwerpunkt zur Harzer Montangeschichte als „Projektgruppe Harz“ im Arbeitskreis für Niedersächsische Wirtschafts- und Sozialgeschichte der Historischen Kommission für Niedersachsen und Bremen fortbesteht und wir, nicht nur aufgrund des reichen Bestandes im Bergarchiv im Landesbergamt Clausthal-Zellerfeld noch weitere, so fundierte Arbeiten zur Harzer Montangeschichte erwarten können.

ohne herzhafte duftende Spuren zu hinterlassen. Mit Ausnahme der Römerstraße, dem Boulevard unserer kleinen Hochschulstadt, gab es keine Kanalisation; für die dringendsten Bedürfnisse sorgten Plumpsklos mit Rückantwort in den Hinterhöfen, nur bei Großfamilien in luxuriöser Zwei-Zylinder-Ausführung. Harzer Roller waren aber, um Missverständnissen vorzubeugen, nicht etwa die hygienisch in Zellophan abgepackten Stinkbomben, sondern die mit besonderer Liebe verhätschelten Kanarienvögel, die alljährlich zu einem fröhlichen Singwettstreit im Polstertal antraten. Und natürlich hatte jede Clausthaler Familie, die etwas auf sich hielt, eine Ziege und einen Heinel im Stall. Heinel war die liebevoll zynische Bezeichnung für Bergstudenten, die wesentlich leichter zu melken waren als Ziegen. Studentenwohnheime waren noch nicht vorhanden und Wohngemeinschaften galten noch als unmoralisch. Stattdessen besorgte man sich meistens durch Klinkenputzen eine „Bude“, manchmal durch Hinweis auf Schwarzmarktbeziehungen oder Kohledeputate. Voraussetzung allerdings war damals eine Zuzugsgenehmigung, die vom Wohnungsamt in Zellerfeld nur gegen Vorlage der Immatrikulationsbescheinigung erteilt wurde. Kundige Thebaner wussten sich allerdings durch trickreiche Verhandlungen eine Zuzugsgenehmigung zu beschaffen, um damit unter Umgehung des Zulassungsausschusses als Clausthaler Einwohner eine Gasthörer-Lizenz zu erwerben.

Die Buden selbst waren in der Regel spartanisch einfach, niedrig und klein, kaum größer als eine Klosterzelle. Fließend Wasser gab es meist nur an den Wänden, im Winter auch an den Fensterscheiben. Ein Spucknapf mit Wasserkanne musste zur Körperpflege reichen. Ein Kanoenenofen bildete die frühe Entwicklungsstufe einer Klimaanlage, die meist auf low temperature gestellt war, wenn die Kohledeputatlieferung aus dem Ruhrgebiet ausblieb. Waschmaschinen hatten noch eine flache Brettform mit gewellter Oberfläche und wurden stromsparend mit Knochenfett betrieben. Unter Stereoanlage hätten sich damals selbst Humanisten nicht vorstellen können, dass diese einmal zur Standardausrüstung jeden Grundschülers gehören würde. Ein Volksempfänger mit zwei Sendebereichen – UKW war noch nicht on air – war bereits der Gipfel des Luxus. Vom Fernsehen war noch gar nicht die Rede. Damenbesuch war nur mit Genehmigung der Wirtin zulässig, widrigenfalls drohte fristlose Kündigung. Mieterschutz war noch nicht mal andeutungsweise erfunden. Obschon wir schon wussten, dass es reizvolle Unterschiede zwischen den Geschlechtern gab, waren wir sicher die letzte Generation, die daran glaubte, dass man heiraten muss, um ein Baby zu bekommen. Aber die erste Geschlechtsumwandlung haben wir noch miterlebt. Jungen mit Ohringen und Mädchen mit Brillantsplittern am Bauchnabel oder in der Nase haben wir allerdings erst als Fröhrentner kennengelernt. ►

## Studieren in Clausthal – vor fünfzig Jahren

Franz-Rudolf Limper

Man muss nicht unbedingt verrückt sein, um in Clausthal zu studieren, aber es hilft schon unheimlich. Und ein bisschen verrückt waren wir damals alle, die sich in den ersten Nachkriegsjahren um einen Studienplatz bemühten. Verrückt nach einem freien Leben in einer friedlichen Welt, nach sechs Jahren Krieg, verrückt nach heißen Städten, die nicht im Bombenkrieg zerstört waren und nach einer Landschaft, die uns den traurigen Charme der Trümmerberge vergessen ließ. Wir, das waren etwa 350 Studenten, die an der damaligen Bergakademie Clausthal im Rahmen des von der Besatzungsmacht festgesetzten numerus clausus in den Jahren 1946/47 das Studium des Bergbaus, des Hüttenwesens oder der Geowissenschaften aufgenommen hatten. Von Ausnahmen abgesehen alles Kriegsteilnehmer, die ihre schönsten Jugendjahre zum Teil mehr als acht Jahre, wie es so schön hieß, „dem Vaterland geopfert hatten“. Nach verbürgter Statistik betrug der Anteil der ehemaligen Angehörigen der Kriegsmarine 50 %.

Das Zulassungsverfahren war durch ein Punktesystem geregelt, in dem Lebensalter, Kriegszeit, Praxisdauer, Abiturnoten und politische Vergangenheit ebenso berücksichtigt waren

wie das soziale Umfeld. Im Gegensatz zu anderen Hochschulen hatten wir in Clausthal keinen begründeten Verdacht auf Schiebung, Bestechlichkeit oder Korruption im Zulassungsausschuss. Immerhin, es war noch die Zeit vor der Währungsreform. Die eigentliche Währung bildeten amerikanische Zigaretten, Tabak, Butter, Wurst, Seife oder Kaffee. Die Lebensmittelzuteilungen machten Schlankheitskuren oder Trennkostdiäten überflüssig. Wir kauften Mehl und Zucker, wenn es so etwas überhaupt gab, noch in Papiertüten und nicht in Geschenkpackungen, obwohl eine Handvoll Kartoffeln schon als Geschenk empfunden wurden. Penicillin und Schluckimpfung waren noch ebenso unbekannt wie die Pille danach oder Viagra davor. Entlastet wurde noch mit DDT, saniert mit Salvarsan, Mandelentzündung und Hämorrhoiden wurden noch nach bewährter Marine-Sanitätsvorschrift mit Kaliumpermanganat gepinselt, man musste nur schauen, dass man als Erster behandelt wurde. Für das allmorgendliche Wecken sorgten weder Funkuhr noch Radiowecker, sondern die vielbeinige schwarzbunte Oberharzer Damenkapelle mit melodischem Geläut, die morgens und abends durch die Gassen getrieben wurde, nicht

Homosexuelle waren noch nach § 175 BGB kriminalisiert und gesellschaftlich geoutet, die sogenannte Hamburger Hochzeit hatte noch nicht stattgefunden. Im übrigen waren wir bereits in den Jahren der bergmännischen Praxis darauf vorbereitet, dass der Oberharz, speziell Clausthal, schon seit Jahrzehnten zu einem sexuellen Notstandsgebiet erklärt worden war. Die wenigen Studentinnen der Geologie und Metallurgie waren schnell in fester Hand und der Kontakt zu den Schönen des Landes war schon wegen der starken Nachfrage nicht so einfach herzustellen. Da es noch keine Handys gab, mussten landschaftsübliche Lautäußerungen wie z.B. Hundegebell oder Hirschruf bei Dunkelheit zur Standortmeldung am vereinbarten Treffpunkt dienen. Wie ernüchternd aber war es, wenn dann anstelle der erwarteten Schönen eine Rote hämisch grinser Bundesbrüder mit lautem Gebell am Treffpunkt erschien. Darunter konnten romantische Gefühle schon sehr stark leiden. Wegen der diesbezüglich angespannten Mangellage in Clausthal musste der Operationsbereich auch auf die umliegenden Ortschaften wie Hahnenklee, Harzburg, Goslar und Braunlage ausgedehnt werden. Tennisturniere in Hahnenklee, Bobmeisterschaften am Bocksberg oder Skiabfahrtsläufe auf der Wilden Sau bildeten erfolgversprechende Gelegenheiten zur Kontaktaufnahme. Allerdings mussten wir dabei auch die schmerzliche Erfahrung machen, dass das Balzverhalten bayrischer Bobfahrer wie Anderl Ostler und Nieberl nicht unbedingt korpsstudentischen Bräuchen entsprach. Ausgeschlagene Zähne, blaue Augen, geplatze Lippen oder Knopflöcher in den Zungen zeugten von solch einer zünftigen Holzerei im Hahnenkleer Hof. Nicht ganz so ungefährlich waren dagegen Ausflüge in den Ostharz. Man muss sich heute vergegenwärtigen, dass nur wenige hundert Meter vom Torfhaus entfernt, also im Eckertal, der Eiserne Vorhang verlief und man Gefahr lief, von unseren russischen Befreiern kassiert zu werden, wenn man den vor der Haustür majestätisch herausfordernden Brocken erklimmen wollte. Gottlob war das Grenzsystem damals noch nicht mit Minengürtel und Selbstschußanlagen gesichert, aber das Hochmoor auf der Westflanke des Brocken, stellte auch ein unerwartet ernsthaftes Hindernis dar, wenn man nicht den überwachten Goetheweg benutzen wollte. Ersatzweise bot sich der davor gelagerte Ackerbruchberg im Sommer wie im Winter für reizvolle Wander- oder Langlauftouren an, die natürlich nur in vorlesungsfreier Zeit eifrig genutzt wurden. Es konnte allerdings schon mal passieren, dass man nachts im Schneesturm festsaß und erst am frühen Morgen das nächste rettende Haus erreichen konnte. Wie hilfreich wäre da schon ein Funktelefon gewesen.

Unter diesen Lebensbedingungen fanden sich sieben Studienanfänger zusammen, die später von ihren Kommilitonen als „Goldene Sieben“ bezeichnet wurden und aus denen sich der Aka-

demische Bund für Berg- und Hüttenleute zu Clausthal entwickelte.

Bei aller Unterschiedlichkeit der Temperamente, Talente und Begabungen lagen wir auf der gleichen Wellenlänge, so dass wir unsere Studienzeit gemeinsam gestalten wollten.

Natürlich lebten wir nicht in der Isolation, sondern hatten auch außerhalb unseres Freundeskreises einen intensiven Kontakt mit der übrigen Studentenschaft, der sich schon aus dem gemeinsamen Glücksgefühl des Überlebens und dem gemeinsamen Wunsch zum Wiederaufbau ergab. Selbstverständlich blieb es nicht aus, dass wir einzeln oder in Grüppchen bei den sechs damals schon in Clausthal vertretenen Verbindungen eingeladen und zum Beitritt aufgefordert wurden. Aber ebenso selbstverständlich war es auch, dass keiner aus diesem uns inzwischen so liebgewordenen Freundeskreis ausscheren wollte. Außerdem war uns auch beim Einblick in die Prinzipien und Lebensformen der vorhandenen studentischen Korporationen klar geworden, dass eine bloße Übernahme überlieferter studentischer Bräuche und Ausdrucksformen uns in Anbetracht der inzwischen doch sehr veränderten Zeitumstände und Lebenserfahrungen nicht mehr zeitgemäß und annehmbar erschien. Und das, obschon einige unserer Väter oder Großväter bei Koesener Corps aktiv gewesen waren. Bei aller Anerkennung der Verpflichtung des einzelnen gegenüber der Gemeinschaft und der Bereitschaft zu freiwilliger Unterordnung unter gemeinsam anerkannte Ziele wollten wir doch der lange entbehrten individuellen Freiheit und der freien Entfaltung der Einzelpersönlichkeit wesentlich mehr Raum geben. Bierkomment und Fuchsenstall schienen uns nicht die dafür geeigneten Instrumente zu sein. Nicht blinde Unterordnung, nicht Gleichmacherei, sondern Förderung des Einzelnen durch Toleranz und gegenseitige Anerkennung hielten wir nach den Jahren der Vereinheitlichung und Uniformierung für erstrebenswert. Gehorsam als oberste Tugend des Soldaten sollte den lange überbetonten Vorrang zugunsten der Förderung von Eigeninitiative und Kreativität verlieren. Individualität und Vielfalt sollten gerade auch in der Gemeinschaft entwickelt werden. Keine der in Clausthal bereits vorhandenen Korporationen schien unseren Vorstellungen in dieser Hinsicht zu entsprechen.

Gemeinsam beteiligten wir uns am studentischen Leben, an sportlichen Wettbewerben, Diskussionen oder kulturellen Veranstaltungen.

Mit viel Eifer und Engagement wurden im Wintersemester 1948/49 Ziele und Satzung des neuen Akademischen Bundes für Berg- und Hüttenleute, wie wir uns in Anlehnung an den BuH-Verein nannten, erarbeitet und der Zulassungsantrag über den Rektor an die Militärregierung gestellt. Am 11. April 1949, also genau vor 50 Jahren, erteilte uns der Universitätskontrolloffizier vom 126. Hauptquartier Göttingen die Gründungsgenehmigung.

Der Erweiterung der Kenntnisse auf außerfachlichen, besonders schöngestigten Gebieten – ein anderes unserer Satzungsziele – kam der Bund schon bald durch mehrere öffentliche Veranstaltungen nach. Hier sind besonders der Vortrag des damaligen Direktors des Bergbaumuseums, Dr. Winkelmann, über „Bergbau und Kunst in der Vergangenheit“, eine Lesung der jungen Göttinger Dichterin Karin Helm oder ein Mussorgsky-Abend des damals noch unbekannten Detmolder Pianisten Hubertus Böse, später Professor am Mozarteum in Salzburg zu erwähnen, die eine außerordentlich erfreuliche Resonanz in Clausthal fanden. Unvergessen bleibt aber auch der Erich Kästner Abend „Unter der brennenden Lampe“, bei der wir bis dahin verbotene oder noch wenig bekannte satirische Gedichte von Kästner, Morgenstern, Endrikat und Ringelnatz mit verteilten Rollen lasen. Während Kästner-Gedichte gerade im Kästner-Jubiläumsjahr häufig zitiert werden und als bekannt vorausgesetzt werden können, möchte ich heute ein Endrikat-Gedicht vorlesen, das gewisse Parallelen zu nächtlichen Stunden beim Traurigen Seehund im Ratskeller oder an Ratzeputz-Abende im Schmierigen Löffel erkennen lässt.

*Ich muss ja furchtbar blau gewesen sein, als ich den Lampenschirm für Frieda hielt, das Licht war an, kalt war mein linkes Bein, und gegenüber ward Klavier gespielt.*

*Die Bilder waren alle so verwirrt, das lag wohl an dem Zwetsch und am Likör, auch hab ich mich an eine Frau verirrt, sie fand das nett und nannte mich Flaneur.*

*Ich weiß nur, dass ich immer tanzen wollte, obschon es völlig an Musik gebrach, und dass man Max in einen Teppich rollte, aus dessen Öffnung er sich dann erbrach.*

*Wir fanden dies entsetzlich komisch, weil es so komisch und entsetzlich war. Herr Kuhlmanns Frau benahm sich sehr drakonisch, sie liebt den Max, deswegen war dies klar.*

*Wir lallten grinsend durch die Alkohole, wenn ich jetzt rauche, wird mir furchtbar schlecht, wo Zunge war, ist eine Stiefelsohle: Jedoch ansonsten war der Abend echt!*

*Der Damenstrumpf in meiner Manteltasche betrachtet mich und sagt lakonisch: „Schwein!“ Ich gäh’ jetzt viel für eine Seltersflasche. Ich muss ja furchtbar blau gewesen sein.*

Um nicht den falschen Eindruck mangelnder Ernsthaftigkeit beim Studium aufkommen zu lassen, möchte ich doch klarstellen, dass Exzesse dieser oder ähnlicher Art natürlich die absolute Ausnahme darstellten. Obwohl wir grundsätzlich keine Bier-Allergie hatten, reichten wir bei unseren Veranstaltungen, zu denen auch unsere Professoren mit ihren Damen eingeladen waren, bevorzugt Wein, ein Brauch, aus dem sich der inzwischen traditionell gewordene „Weinumtrunk“ entwickelt hat.

Der Vortrag wurde ursprünglich auf dem Haus des Berg- und Hüttenmännischen Vereins im Jahre 1999 gehalten. Für TU Contact wurde er gekürzt.



1. November 2002

# Mitgliederversammlung des Vereins von Freunden der TU Clausthal

Vor Eintritt in die Tagesordnung begrüßte der Vorsitzende den Präsidenten der TU Clausthal Professor Dr. Schaumann. Ein besonderer Gruß galt allen Mitgliedern sowie den Gästen, die an der Mitgliederversammlung teilnahmen.

Der Vorsitzende gedachte der seit der letzten Mitgliederversammlung verstorbenen Mitglieder des Vereins von Freunden:

*Dipl.-Ing. Karl-Hans Greschat, Haan*  
*Dipl.-Ing. Gerhard Heier, Essen*  
*Prof. Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Theodor Kootz, Königsfeld*  
*Prof. em. Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Kurt Leschonski, Clausthal-Zellerfeld*  
*Dipl.-Ing. Georg Noltze, Celle*  
*Dipl.-Ing. Walter Porth, Frechen*  
*Dipl.-Ing. Horst Rasek, Windeck*  
*Dipl.-Ing. Wilhelm Rischmüller, Peine*  
*Dr.-Ing. Günter Simeister, Clausthal-Zellerfeld*  
*Bergass. a. D. Fritz Wülfing, Essen*

## Bericht des Vorsitzenden

Die Mitgliederbewegung seit der letzten Mitgliederversammlung am 26.10.2001 stellt sich wie folgt dar:

Firmen-Mitglieder	
Stand am 26.10.2001	62
<i>eingetreten:</i>	
(Heitkamp-Deilmann-Haniel, Herne; AVACON, Helmstedt; RWE Power, Essen)	3
<i>gekündigt:</i>	
(RWE Power, Essen; Piepersche Druckerei, Clausthal-Z.; TUI, Hannover; HOESCH Spundw. u. Profil, Dortmund; E. v. Kuenheim-Stiftung, München; Siemens, München)	6
<b>Stand am 1.11.2002</b>	<b>59</b>
Persönliche Mitglieder	
Stand am 26.10.2001	1.337
<i>eingetreten:</i>	36
<i>gekündigt:</i>	30
<i>verstorben:</i>	10
<i>gestrichen von der Mitgliederliste:</i>	2
<b>Stand am 1.11.2002</b>	<b>1.331</b>

Trotz aller Bemühungen sind die Mitgliederzahlen weiter rückläufig. Einzelne Firmenaustritte werden vom Vorstand weiterhin kritisch hinter-

fragt, um ggf. eine Umstimmung des Unternehmens zu erreichen.

Am 01.11.2002 hat die konstituierende Sitzung des Kuratoriums der Wolfgang-Helms-Stiftung stattgefunden.

## Bericht des Schatzmeisters

Der Schatzmeister, Herr Dr. Pfeiffer, berichtete über die Jahresabrechnung 2001 und erläuterte den Haushaltsvoranschlag für das Rechnungsjahr 2003. Anhand der Mittelbestands- und Mittelverwendungsübersicht 1998 bis 2001 und 30.09.2002 beschrieb Herr Dr. Pfeiffer die zur Zeit günstige Kassenlage.

Die Freistellungsbescheide des Finanzamtes Goslar zur Körperschaftssteuer und Gewerbesteuer für 2000 für alle gemeinnützigen Institutionen (VvFr und Stiftungen) liegen vor.

Der Rechnungsprüfer, Herr Gravenhorst, gab einen Bericht über die Prüfung der Jahresabrechnung 2001. Die Mitgliederversammlung beschloss einstimmig, die Jahresabrechnung für das Geschäftsjahr 2001 anzunehmen. Der Bericht der Rechnungsprüfer, die Aufstellung des Vermögens des Vereins per 31.12.2001 sowie die Abrechnung für das Geschäftsjahr 2001 liegen als Niederschrift vor.

## Entlastung des Vorstands und Wahl der Rechnungsprüfer

Herr Gravenhorst stellte den Antrag, dem Schatzmeister und den übrigen Mitgliedern des Vorstandes des Vereins von Freunden für das Geschäftsjahr 2001 Entlastung zu erteilen. Der Antrag wurde von der Mitgliederversammlung einstimmig angenommen.

Der Vorsitzende teilte mit, dass die Herren Ltd. Bergdirektor Dipl.-Ing. Gravenhorst und Steuerberater Dr. jur. Tosch sich bereit erklärt haben, auch weiterhin als Rechnungsprüfer zur Verfügung zu stehen. Er stellte deshalb den Antrag, die beiden Herren für das nächste Geschäftsjahr als Rechnungsprüfer zu wählen. Der Antrag wurde von der Mitgliederversammlung einstimmig angenommen.

## Neuwahl des Gesamtvorstandes

Der Vorsitzende wies darauf hin, dass die Amtszeit des Gesamtvorstandes abgelaufen sei. Der Vorstand sei gemäß § 7 Abs. 2 der Satzung für

eine Amtszeit von drei Jahren neu zu wählen.

Der Vorsitzende verlas die Namen der Herren, die der Mitgliederversammlung zur Wahl in den Vorstand vorgeschlagen wurden. Die Mitgliederversammlung wählte die vorgeschlagenen Herren in den Vorstand des Vereins von Freunden.

Die Liste der gewählten Mitglieder des Vorstandes liegt als Niederschrift vor.

Der Vorsitzende teilte mit, dass in der vorausgegangenen Vorstandssitzung der Vorstand vorbehaltlich der Wahl durch die Mitgliederversammlung folgende Herren in den geschäftsführenden Vorstand gewählt hat:

<b>Vorsitzender:</b>	Prof. Dr. Ameling
<b>stellv. Vorsitzender:</b>	Dr. Stähler
<b>weiteres Mitglied:</b>	Prof. Dr. Beck
<b>weiteres Mitglied:</b>	Prof. Dr. Jakob
<b>weiteres Mitglied:</b>	Prof. Dr. Wolter
<b>Schatzmeister:</b>	Dr. Pfeiffer
<b>stellv. Schatzmeister:</b>	Dipl.-Ing. Dornbusch
<b>Schriftführer:</b>	Dipl.-Ing. Grethe

Die gewählten Vorstandsmitglieder nahmen die Wahl an.

Professor Dr. Schulz beglückwünschte den neuen Vorsitzenden Professor Dr. Ameling zu seiner Wahl. Gleichzeitig dankte er ausdrücklich Herrn Professor Dr. Jeschar und Herrn Professor Dr. Müller für ihre langjährige Tätigkeit im geschäftsführenden Ausschuss sowie allen aus dem Vorstand scheidenden Herren für ihre Mitarbeit im Vorstand.

Anschließend bedankte sich Professor Dr. Ameling im Namen der alten und neuen Mitglieder des Vorstands und des neuen geschäftsführenden Ausschusses für das dem Vorstand von der Mitgliederversammlung entgegengebrachte Vertrauen.

\*

Der Vorsitzende gab bekannt, dass die nächste Mitgliederversammlung für den 31.10.2003 vorgesehen ist.

Mit Dank an die Anwesenden schloss der Vorsitzende die Mitgliederversammlung.

Der ebenfalls vor der Versammlung abgegebene **Bericht des Rektors** findet sich in seinen wesentlichen Punkten im Anschluss.

November 2002

## Bericht des Präsidenten

### Lage der TU Clausthal

Die TU Clausthal nimmt auch weiterhin eine hervorgehobene Sonderstellung in der deutschen Hochschullandschaft ein. Sie gründet sich auf die bergmännische Tradition, ist aber gleichzeitig stolz auf zeitgemäße, praxisnahe Studiengänge auf mittlerweile 21 Gebieten. Dabei sind wir unverändert bemüht, die Tugenden der alten Bergakademie auch in die aktuelle Lehr- und Forschungstätigkeit einzubringen. So rühmen wir uns sicher nicht zu Unrecht eines Teamgeistes, der Lehrende und Lernende erfüllt, der aber auch unsere Ehemaligen mit einbezieht. Sehr deutlich wurde die Verbundenheit der Ehemaligen mit ihrer TU im April 2002, als sich die Diplom-Ingenieure des Examensjahrgangs 1952 zu ihrem 50-jährigen Diplomjubiläum an der TU trafen. Es war eindrucksvoll zu sehen, wie sehr die Jubilare nicht nur in Erinnerungen schwelgten, sondern auch nach einem halben Jahrhundert ungebrochen zu ihrer TU stehen. Es besteht berechtigte Hoffnung, dass die vor einem Jahr eingeführte und mittlerweile fest etablierte Übergabe der Diplom- und Doktorurkunden im Rahmen einer akademischen Feier auch für die aktuellen Absolventenjahrgänge den Wunsch nach einer andauernden Verbindung mit der *Alma mater clausthalensis* fördern wird.

Das Selbstverständnis unserer TU als „Forschungsuniversität“ ist ungebrochen und drückt sich in einer Vielzahl thematisch sehr variabel angelegter Forschungsprojekte der Grundlagenforschung und der durch staatliche Stellen oder die Industrie geförderten Drittmittelforschung aus. Mit einiger Sorge sehen wir die Tendenz des Bundes und seiner Forschungsinstitutionen, gut dotierte Förderprogramme für oft sehr spezielle anwendungsorientierte Forschungsthemen aufzulegen. Die dafür eingesetzten Gelder fehlen für die Unterstützung der zweckfreien naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung. Dabei wird übersehen, dass ein Durchbruch zu ganz neuen Problemlösungen meist nur durch eine nicht zweckgebundene Grundlagenforschung gelingt. „Forschung lässt sich planen, nicht aber ihre Ergebnisse“ sagt D. Seebach (ETH Zürich) und betont damit, dass durch Forschung nicht nur auf kurzfristige Antworten zu aktuellen Problemen abgezielt werden darf, sondern dass mit einem langen Atem auch die Bearbeitung scheinbar nicht gesellschaftlich relevanter Fragestellungen gefördert werden muss.

Die Zufriedenheit unserer Studierenden ist

weiterhin ein besonderes Anliegen aller Lehrenden an der TU Clausthal. Dazu gibt es im Hochschulranking der Illustrierten „Stern“ und des Centrum für Hochschulentwicklung (CHE), Gütersloh, ein aktuelles Feedback vom April 2002, bei dem für die TU Clausthal besonders die Fächer Mathematik und Maschinenbau gelobt wurden; Informatik erreichte eine Mittelposition. Die Fächer Wirtschaftsinformatik und Wirtschaftsingenieurwesen wurden nicht beurteilt, da sie an unserer Universität noch zu neu sind. Die punktuell erfreulichen Resultate dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Förderung des Studiums jedes einzelnen Studierenden noch mehr beachtet werden muss. Nur so können die in letzter Zeit in einigen Fächern viel zu hohen Abbrecherquoten wieder auf ein erträgliches Niveau gesenkt werden.

Die Zusammenarbeit mit den technisch orientierten Nachbaruniversitäten in Braunschweig und Hannover im Rahmen des *CONSORTIUM TECHNICUM* verläuft weiterhin zufriedenstellend in einer vertrauensvollen Atmosphäre. Neben einer Diskussion allseits interessierender Themen dienen die Evaluationsberichte der Wissenschaftlichen Kommission des Landes Niedersachsen als Grundlage, um die zukünftigen Entwicklungen einzelner Fächer abzustimmen und um die Grenzen einer einzelnen Universität überschreitende Forschungs Kooperationen anzuregen.

### Werbemaßnahmen

Eine verbesserte Außendarstellung der TU Clausthal ist ein besonderes Anliegen aller Gruppen unserer Universität. Die während des Rektorats von Prof. Dr.-Ing. Dietz erstellten Informationsbroschüren haben sich vielfältig bewährt; die Gesamtinformation „Studieren in Clausthal“ ist jetzt auch in englischer Sprache verfügbar. Nicht zuletzt mit Hilfe des „Verein von Freunden“ ist vorgesehen, weitere Broschüren auch in englischer Sprache zu erstellen.

Im Frühjahr konnte der Werbefilm über die TU Clausthal in einer ersten Fassung vorgestellt werden. Mittlerweile liegt eine verbesserte Version in DVD-Form vor, die sich besonders bei Werbeveranstaltungen und bei Besuchen ausländischer Partneruniversitäten bereits als vorzügliches Informationsmaterial bewährt hat. Hervorzuheben ist, dass dieser Film durch Eigeninitiative des Rechenzentrums, des Pressereferenten und einiger Studierender entstanden ist. Die durch den Vorstand des „Verein von Freunden“

initiierte Beratung der TU durch die Werbeagentur Citigate SEA, Düsseldorf hat zu einem intensiven, noch andauernden Dialog geführt. Ziel ist, ein einheitliches Bild der Außendarstellung unserer TU und auch eine griffige Wortformel zur Identifizierung unserer Anliegen zu finden.

### Neue Gesetze aus Hannover und Berlin

Das neue Niedersächsische Hochschulgesetz ist am 1. Oktober 2002 in Kraft getreten. Wesentliche Neuerungen sind

- die Festlegung zukünftiger Entwicklungen und deren Finanzierung durch *Zielvereinbarungen* mit dem MWK,
- die *Akkreditierung* von Studiengängen durch eine Agentur statt deren Genehmigung,
- aktives Wahlrecht für Angehörige der Hochschule, d.h. die an der Hochschule Tätigen, die nicht Mitglied sind,
- Ersatz der Rektoratsverfassung durch ein Präsidium,
- gestärkte Verantwortung der Hochschulleitung,
- eingeschränkte Zuständigkeit des Senats,
- Einrichtung eines Hochschulrates aus Persönlichkeiten, die nicht Mitglied der Hochschule sind,
- Option zum Übergang in eine Stiftungsuniversität.

Um einen möglichst reibungslosen Übergang zu gewährleisten, hat der Senat am 25. Juni 2002 beschlossen, dass

- der amtierende Rektor bis zur Bestellung eines Präsidenten als Interimspräsident fungiert,
- die Fakultäten, Fachbereiche und Institute ebenso wie deren Organe bis zur Neuordnung durch eine neue Grundordnung fortbestehen.

Bis zur Wahl des eigentlichen Präsidenten sind folgende Schritte nötig:

- Wahl eines neuen Senats im Januar 2003,
- Beschluss über eine neue Wahlordnung zur Wahl des Präsidenten,
- Einsetzung einer gemeinsamen Findungskommission aus Senat und Kuratorium der TU Clausthal,
- Ausschreibung der Stelle durch Opfern einer C4-Stelle, die von der TU Clausthal selbst beibracht werden muss.

In dieser Situation erweist es sich als sehr vorteilhaft, dass die TU Clausthal seit einem Jahr über ein Kuratorium verfügt, das gemäß NHG bis 2004 die Funktion des Hochschulrates übernimmt. Mitglieder sind:

- Dr.-Ing. Wolfgang Domröse, Mitglied des Niedersächsischen Landtages,
- Prof. Dr. Günter Dueck, Forschungszentrum der IBM Deutschland,
- Prof. em. Dr. Klaus Habetha, ehem. Rektor der RWTH Aachen, ▶



- Prof. Martha Jansen, Präsidentin der Klosterkammer Hannover,
- Prof. Dr.-Ing. Gerhard Kreysa (Vorsitzender), Geschäftsführer der DECHEMA,
- Prof. Dr. Christine Landfried, Universität Hamburg,
- Dr. Uwe Möller, Haftpflichtverband der Deutschen Industrie (HDI),
- Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Schulz, Vorstandsvorsitzender der ThyssenKrupp AG,
- Prof. Dr. Manfred Timmermann, Deutsche Bank,
- Prof. Dr. Ursula Weisenfeld-Schenk, Universität Lüneburg.

Voraussichtlich zum 1. Oktober 2003 wird das Land das Bundesgesetz zur W-Besoldung umsetzen. C3- und C4-Professorenstellen werden auf Antrag in W2- bzw. W3-Stellen umgewandelt, bei denen sich die Besoldung aus einem Grundbetrag sowie Berufungs-, Funktions- und Leistungszulagen zusammensetzt. Neuberufungen werden dann nur noch auf W-Stellen möglich sein.

## Studium und Lehre

### Studentenzahlen

Nach dem Tief Mitte der 90er Jahre hatten wir uns an einer deutlichen Erholung der Zahl von Studierenden erfreut. Zum vergangenen Wintersemester 2002/03 müssen wir eine gewisse Stagnation bzw. wieder ein leichtes Absinken der Zahlen feststellen. Die aktuellen Zahlen betreffend, fällt der Rückgang in den Bereichen Informatik und Wirtschaftsinformatik auf; dies ist nach dem Boom der letzten Jahre jedoch nicht unerwartet. Unerklärlich erscheint jedoch der Rückgang z.B. in der Chemie.

Ab Sommersemester 2003 wird für Langzeitstudenten, d.h. in der Regel bei Studienzeiten über 14 Semestern, eine Gebühr fällig. Dies betrifft ca. 20% unserer Studierenden. Es ist verstärkt mit Exmatrikulationen zu rechnen.

### Studiengänge

Der starke Andrang von Studierenden in der Informatik und Wirtschaftsinformatik hatte zu Überlegungen geführt, für diese Studiengänge Zulassungsbeschränkungen zu verfügen. Der Senat hat jedoch am 18. Dezember 2001 beschlossen, keinen Numerus clausus zu verhängen.

Bemühungen, die Ausbildung von Lehramtsstudierenden in neuer Form an der TU Clausthal zu etablieren, waren letzten Endes ergebnislos. Die betroffenen Fachbereiche werden sich verstärkt der Lehrerfortbildung widmen.

Eine besonders interessante Entwicklung stellt der Studiengang „Energy Management“ dar, der als Bachelor- / Masterstudiengang gemeinsam mit der Universität Lüneburg betrieben werden soll. Der Senat hat am 25. Juni 2002 der Einrichtung

zugestimmt. Das Studium soll ab Wintersemester 2003/04 mit max. 35 Anfängern zunächst für zwei Semester in Lüneburg beginnen und dann im weiteren Studium in Clausthal stattfinden; später sind ein Auslandssemester und eine Spezialisierung in Lüneburg oder Clausthal vorgesehen.

## Förderpreise

Im Rahmen der Immatrikulationsfeier am 1. November 2002 wurden die diesjährigen Förderpreise an der TU Clausthal vergeben. Im einzelnen waren dies:

### beim Verein von Freunden:

- Herr *Dipl.-Geol. Nadolny* für seine Diplomarbeit mit dem Titel „Heißkathodenlumineszenz-Mikroskopie und ihre Anwendungen am Beispiel Kambrischer Quarzite und Konglomerate aus Nordost-Spanien“, Betreuer Prof. Dr. Gursky, Institut für Geologie und Paläontologie,
- Herr *Dipl.-Ing. Wondraczek* für seine Diplomarbeit mit dem Titel „Entwicklung eines Glas-Polycarbonat-Gradientenwerkstoffes“, Betreuer Prof. Dr. Frischat, Institut für Nichtmetallische Werkstoffe,
- Herr *Dr. rer.nat. Kramer* und Herr *Dr. rer.nat. Meents* für ihre Dissertation mit dem Titel „Integrated Simulation Optimization Strategies and Logistical Process Control for Production Planning Based on Collaboratively Maintained Queuing Models“, Betreuer Prof. Dr. Hanschke, Institut für Mathematik,

### durch die Eberhard-Schürmann-Stiftung:

- Herr *Dipl.-Ing. Dalbert* für seine Diplomarbeit mit dem Titel „Optimierung des Kokillengießens mit der Versuchsmethodik ‚Design of Experiment‘ (DoE) für eine Fahrwerkskomponente aus der Legierung AlSi11“, Betreuer Prof. Dr.-Ing. Döpp, Institut für Metallurgie,
- Herr *Dr.-Ing. Schaub* für seine Dissertation mit dem Titel „Stoffübergang in heterogenen Auftriebsfreistrahlen“, Betreuer Prof. Dr.-Ing. Plushkell, Institut für Metallurgie,

### für die Rudolf-Vogel-Stiftung:

- Herrn *Dr.-Ing. Martin Schmid* für seine Dissertation mit dem Titel „Grundlagenuntersuchungen zur Technik und Wirtschaftlichkeit von Bohrlochbau im Übergangsbereich von Tagebau zum Tiefbau“, Betreuer Prof. Dr.-Ing. Knissel, Institut für Bergbau.

Auch im Berichtsjahr wurde ein ausländischer Studierender vom DAAD mit einem Förderpreis in Anerkennung seiner herausragenden Studienleistungen an der TU Clausthal ausgewählt. Es handelt sich um Herrn *Dipl.-Ing. Hassan Lamsahl*, der im Fach Energiesystemtechnik mit dem Thema „Entwurf und Parametrierung einer mehrstufigen Regelung eines bürstenlosen Gleichstrommotors zur Steuerung eines Druckmesssystems untertage“.

Das Kuratorium der Rudolf-Vogel-Stiftung

wird im Wintersemester 2002/03 eine weitere Ausschreibung veranlassen, in der ausschließlich Projekte antragsberechtigt sein sollen. Ziel ist es, neben abgeschlossenen Diplom- und Studienarbeiten auch laufende Arbeiten zu unterstützen, in dem z.B. Teile der benötigten Ausstattung durch die Stiftung beschafft werden.

## Forschung

Die Forschungssituation in Niedersachsen wird seit einigen Jahren durch die Wissenschaftliche Kommission des Landes evaluiert. Dabei wird Fach für Fach überprüft, wobei die TU Clausthal mit durchweg guten Ergebnissen bedacht wurde. Eine Ausnahme brachte im Mai 2002 die Begutachtung der Informatik. Hier findet gegenwärtig ein Generationswechsel statt, der bis 2005 alle Professuren betrifft. Zwei Neuberufungen sind bisher erfolgt. Die Wissenschaftliche Kommission kritisiert die mangelnden Forschungsleistungen und die personelle Unterausstattung. Der Fortbestand der Informatik in Clausthal wurde in Frage gestellt. In dieser kritischen Situation wurden mit Unterstützung des Ministeriums zur Stabilisierung der Clausthaler Informatik folgende Maßnahmen eingeleitet:

- Erweiterung der Informatik um zwei C4-Stellen, wovon eine durch einen Abzug aus einem anderen Bereich der TU Clausthal beigebracht werden muss.
- Etablierung eines neuen Forschungsschwerpunktes „Simulation und Modellierung“, der interdisziplinär angelegt sein soll, aber bei dem die Informatik im Mittelpunkt stehen soll.

Eine Stärkung ist für den Bereich Abwasser- und Abfallaufbereitung vorgesehen, bei der die Nachfolge von Prof. Dr.-Ing. Gock von einer C3- auf eine C4-Stelle aufgewertet wird.

In einem gemeinsamen Berufungsverfahren mit der CUTEC Institut GmbH wird dort eine C3-Professur für Umweltverfahrenstechnik und mobile Systeme eingerichtet.

## Dissertationen und Habilitationen

Die Forschung war seit jeher die besondere Stärke der TU Clausthal. Das gilt auch für die Arbeiten der Nachwuchsforscher, also der Diplomanden, Doktoranden und Habilitanden. Um auf dieses Know-how in Zukunft besser zugreifen zu können, ist geplant, sämtliche Arbeiten als PDF-Dateien im Internet zur Verfügung zu halten. Zuvor sind jedoch einige Vorarbeiten nötig, an denen derzeit gearbeitet wird.

Die Zahl der Dissertationen an der TU Clausthal befindet sich seit Jahren auf einem relativ hohen Niveau. Der Rückgang in den Promotionen seit 1997 lässt sich durch die Reduzierung der Stellen für den wissenschaftlichen Nachwuchs erklären, die durch die Sparauflagen des Landes bedingt ist. Es bleibt zu hoffen, dass das nun erreichte Niveau gehalten werden kann. ▶

Im Bereich der Habilitationen sind erfreulicherweise neun erfolgreich beendete Verfahren im Berichtszeitraum aus den beiden Fakultäten zu vermelden.

### Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Die Berufung der vom Senat im Sommersemester 2001 beschlossenen Juniorprofessoren geht zügig voran. Durch Inkrafttreten des neuen Niedersächsischen Hochschulgesetzes werden die Stellen nicht mehr als Vorgriffs-Juniorprofessuren, sondern als solche vergeben. Die erste Ernennung hat zum Dienstbeginn 1. November 2002 stattgefunden.

### Situation in der Drittmittelforschung

Die Drittmittelforschung steht in der Umbruchsituation des Generationswechsels an vielen Instituten unserer TU. Immerhin ist jetzt fast regelhaft erreicht worden, die durch Pensionierung frei werdenden Stellen unmittelbar wiederzubesetzen.

### Sonderforschungsbereiche

Neuer Sprecher des gemeinsam mit der Universität Hannover betriebenen SFB 362 „Fertigen in Feinblech“ ist Prof. Dr.-Ing. Palkowski, Institut für Metallurgie. Dieser Sonderforschungsbe- reich stand im Oktober letztmalig zur Verlängerung an. Die Begutachtung wurde von allen Beteiligten als unproblematisch befunden, so dass berechtigte Hoffnung auf die angestrebte Verlängerung bestehen.

### Forscherguppen

Die Förderung der Forschergruppen „Darstellungstheoretische und Kohomologische Methoden in der Theorie der dynamischen Zetafunktionen und des Quantenchaos“, „Zetafunktion

nen und lokalsymmetrische Räume“ sowie „Werkstoffbezogene numerische Simulationen thermischer Prozesse in der Produktionstechnik“ dauert an.

Das mit Clausthal als Sprecheruniversität (Sprecherin: Prof. Dr. G. Schmidt) laufende europäische Graduiertenkolleg „Microstructural Control in Free-Radical Polymerization“ wurde sehr positiv begutachtet und die Förderung entsprechend im Oktober 2002 verlängert.

Die interdisziplinäre Initiative zur Entwicklung von Werkstoffen aus nichtkompatiblen Komponenten hat seinen Paketantrag an die DFG gestellt; eine Entscheidung steht noch aus.

### Zentren an der TU Clausthal

In der Planung eines „Niedersächsischen Zentrums für Materialtechnik“ hat sich die Abstimmung der Forschungsansätze aus Clausthal, Braunschweig und Hannover als sehr zäher Prozess erwiesen. Das im Februar 2002 vorgelegte Ergebnis wurde dann von den Hochschulleitungen als zu wenig profiliert kritisiert. Nachdem die Prüfung von organisatorischen Alternativen unbefriedigend verlief, ist jetzt ein Stufenmodell vorgesehen, in dem sich die erste Phase im wesentlichen unter Clausthaler Führung und unter Umsetzung der Clausthaler Forschungsideen vollziehen soll. Der Zeitplan sieht den Abschluss der universitären Planungsvorgänge noch im Wintersemester 2002/03 vor.

An der TU Clausthal laufen in verschiedenen Instituten Forschungsvorhaben zur Brennstoffzelle. Hier gibt es Bestrebungen, die einzelnen Projekte unter dem Dach eines „Kompetenzzentrums“ zusammenzufassen. Die Einbindung der Industrie erwies sich jedoch als schwierig. Gespräche dauern an.

### Multimedia-Aktivitäten

Die modernen Informationstechnologien führen dazu, dass die Inhalte von Lehrveranstaltungen

mehr und mehr ins Internet gestellt werden und damit weltweit einsehbar werden. Damit sind die Universitäten implizit auf dem Wege zur Fernuniversität. Das Land Niedersachsen strebt an, die Entwicklungen zu strukturieren und zu stützen. Im dazu geschaffenen „Strategischen Beraterkreis Multimedia“ sind der Vizepräsident Prof. Dr. Hanschke und der Leiter des Rechenzentrums Dr. Lange Mitglied.

Eine konkrete Initiative des Landes ist ELAN (E-Learning Academic Network Niedersachsen) mit dem Ziel einer virtuellen Hochschule Niedersachsen. In einem ersten Schritt sollen ausgewählte Hochschulen dabei zu „Netz-Piloten“ werden. Dazu muss an den Universitäten zunächst eine angemessene IT-Infrastruktur aufgebaut werden. Ziel ist es, die Lehr- und wissenschaftlichen Bildungsangebote in ein Netzwerk „Lern-Allianz“ zu integrieren, dem die Hochschulen, die Wirtschaft, Bildungseinrichtungen, Content-Provider und andere zusammenarbeiten. Dieses Netzwerk soll über das Ziel des ELAN-Programms hinaus zu einer Öffnung der niedersachsenweiten E-Learning-Netzwerke führen. Der Senat der TU Clausthal hat am 6. März 2002 beschlossen, dass sich die TU Clausthal um die Funktion eines Netzpiloten bewerben soll.

Der Antrag der TU Clausthal sah eine Kooperation mit der Deutschen Telekom vor. Zur Optimierung der landesweiten Ressourcenverteilung wurde ein gemeinsamer Auftritt der TU Clausthal und der Universität Göttingen als Netzpilot beschlossen. Damit werden die beiden Universitäten im Fach Informatik gemeinsame Konzepte ausarbeiten und Multimedia-gestützt Inhalte austauschen. Dieser Prozess hat mit einer Televorlesung bereits in diesem Wintersemester begonnen. Die Ausstattung von Multimedia-Hörsälen sowie der Erwerb von Lehr- und Lernsoftware wird mit 2,1 Mio. € gefördert. Die an den Standorten vorhandenen Kompetenzen sollen so den Studierenden beider Universitäten zugute kommen.

# Unfall- und Verletzungsschwerpunkte in der deutschen Zementindustrie

Dr. Klaus Breitel ist Mitglied des Vereins von Freunden und studierte in Clausthal und legte im Mai 1955 in der Fachrichtung Steine und Erden seine Diplom-Hauptprüfung ab. Im November 2001 wurde er an der Bergischen Universität Wuppertal bei Professor Bernd H. Müller mit einer Arbeit über den Arbeits- und Gesundheitsschutz in der deutschen Zementindustrie promoviert. Die Dissertation entstand nach dem Ausscheiden von Dr. Breitel aus dem aktiven Dienst als stellvertretender Leiter der Abteilung Arbeitsschutz, Sicherheitstechnik, betrieblicher Gesundheitsschutz des Hessischen Sozialministeriums. In seiner Arbeit wertete Dr. Breitel 525

der Steinbruchs-Berufsgenossenschaft in einem Jahr gemeldeten Arbeitsunfälle aus. Unfallschwerpunkte konnte Dr. Breitel vor allem in der Produktion bei den weniger qualifizierten Anlagewärtern beim „Gehen, Laufen, Hinauf- und Herabsteigen“ und beim „Umgehen mit Handwerkszeugen und maschinellen Werkzeugen“ feststellen. Verletzungsschwerpunkte sind Hand,- Knöchel- und Fußverletzungen. Aus der Analyse der Unfallhäufigkeiten an den Arbeitsplätzen der einzelnen Abteilungen und der Unfallschwerpunkte in der Produktion leitet Dr. Breitel Empfehlungen für die Werksleitungen ab: Schutzhandschuhe und Sicherheitsschuhe müß-

ten nicht nur zur Verfügung gestellt werden sondern auch das Tragen derselben sollte überwacht werden. Verkehrswege, Treppen und Arbeitsbühnen sollten auf sichere Begehrbarkeit sowie gute Beleuchtung überprüft werden. Wo können mechanische Hilfen zum Transport schwerer Gegenstände eingesetzt werden? Fernerhin sollte geprüft werden, bei welchen Arbeiten belastende Körperhaltungen (gebeugt, verdreht, Überkopf-Arbeit) durch Hilfsmittel oder andere Arbeitsverfahren beseitigt oder vermindert werden könnten. Weitere Informationen: Dr. Klaus P. Breitel, 55122 Mainz, Hegelstr. 7. Tel. 06131 31398. ■

## Habilitationen

*Bartzsch, Jörg, Dr.-Ing.:*

Untersuchungen zu metallurgischen und physikalischen Vorgängen beim Schweißen unter extremen Bedingungen.

Fachgebiet: Werkstofftechnik

*Heide, Gerhard, Dr.-Ing.:*

Zur Systematik nichtkristalliner Materialien.

Fachgebiet: Nichtmetallische Werkstoffe

*Elsholtz, Christian, Dr. rer.nat.:*

Combinatorial Prime Number Theory - A Study of the Gap Structure of the Set of Primes.

Fachgebiet: Mathematik

*Hou, Zhengmeng, Dr.-Ing.:*

Geomechanische Planungskonzepte für untertägige Tragwerke mit besonderer Berücksichtigung von Gefügeschädigung, Verheilung und hydro-mechanischer Kopplung.

Fachgebiet: Geomechanik

## Promotionen

### Mathematik und Informatik

*Engelhardt-Funke, Ophelia, Dipl.-Math.:*

Stochastische Modellierung und Simulation von Verspätungen in Verkehrsnetzen für die Anwendung bei der Fahrplanoptimierung.

*La Tendresse, Ingo, Dipl.-Inf.:*

Skizzen-Feedback für die Suche in Bilddatenbanken.

### Physik, Metallurgie und Werkstoffwissenschaften

*Steinbach, Jan, Dipl.-Ing.:*

Dispersionsabscheidung von nanostrukturierten Nickel-Aluminiumoxid-Kompositen durch Elektrodeposition mittels Gleich- und Pulsstrom – Herstellung, Gefüge- und Strukturanalyse, Eigenschaften.

*Gerth, Uwe, Dipl.-Ing.:*

Mechanische Kennwerte natürlich und technisch erzeugter Gläser, ermittelt mit Eindruckverfahren und Modellrechnungen.

*Buhles, Thorsten, Dipl.-Ing.:*

Modellierung und Simulation der Entschwefelung von Stahlschmelzen.

*Schwenkel, Stephan, Dipl.-Ing.:*

Einfluss der chemischen Zusammensetzung und der Abkühlgeschwindigkeit auf das eutektische Erstarrungsintervall von Fe-C-Si-Legierungen.

*Strehl, Gernot, Dipl.-Phys.:*

Über Verarmungsprobleme bei der Oxidation von Hochtemperaturlegierungen am Beispiel des Systems Fe-20Cr-5Al.

*Prescher, Kai Torsten, Dipl.-Ing.:*

Gefüge-Eigenschaftskorrelation von kontinuierlich gesintertem Siliziumnitrid.

*Wedemeyer, Sven, Dipl.-Ing.:*

Recovery of Heavy Metals from Fly Ash of Municipal Solid Waste Incinerators by Chloridizing Volatilization.

*Maiwald, Thorsten, Dipl.-Ing.:*

Werkstoffkundliche Untersuchungen an innovativen Gleitlagerwerkstoffen.

*Kutschera, Ute, Dipl.-Ing.:*

Grundlegende Untersuchungen zum Laserstrahlbeschichten von Magnesiumlegierungen sowie zum artungleichen Laserstrahlschweißen mit Nd: YAG-Festkörperlaser und pulverförmigen Zusatzwerkstoffen.

### Geowissenschaften, Bergbau und Wirtschaftswissenschaften

*Günther, Anke, Dipl.-Geol.:*

Magnetische Anisotropie gebänderter Eisenerze und deren Beziehung zu kristallographischen Vorzugsorientierungen.

*Zemke, Christian, Dipl.-Geol.:*

Methodik und Anwendung neuronal-basierter Klassifikatoren in der Analyse komplex wechselwirkender Prozesse in Geosystemen.

*Capita, Malexandre Andrade, Dipl.-Geol.:*

The Arkhangelsk Diamond Province Kimberlite Geochemistry and Heavy Mineral Composition Correlated with Diamond Grade.

*Reiß, Michael, Dipl.-Ing.:*

Beitrag zur Quantifizierung der Sauerwasserbildung sulfidhaltiger Abgänge der Montanindustrie für die Konzeptionierung von Verminde-rungsmaßnahmen.

*Frank, Kornelia, Dipl.-Geophys.:*

Untersuchungen zum Einfluss der Oberflächeneigenschaften und Porenraumstrukturen ausgewählter Speicher- und Barrieregesteine auf das NMR-Relaxationsverhalten.

*Stolletz, Raik, Dipl.-Math.oec.:*

Performance Analysis and Optimization of Inbound Call Centers.

*Hamouda, Hassan, Dipl.-Ing.:*

Beitrag zur Bilanzierung und Reduzierung des Überschussschlammes in kommunalen Kläranlagen.

### Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Chemie

*Ellhoff-Berg, Carmen, Dipl.-Chem.:*

Reaktionen an Polymeren mit Nitrilgruppen in der Seitenkette.

*Raffa, Carmine, Dipl.-Chem.:*

Festphasengebundene Substrate und Liganden für die Hydro(Hetero-)Arylierung [2.2.1] Bicyclischer Alkene.

*Takam Mangoua, Bertrand Xavier, M.Sc.:*

Determination of the Local Viscosity inside Polymerizing Particles in Emulsion via Polarized Fluorescence Spectroscopy.

*Gourianova, Svetlana, Dipl.-Ing.:*

Strukturelle und thermodynamische Parameter der Phasenmorphologie ultradünner Diblockcopolymerschichten, untersucht mittels Rasterkraftmikroskopie.

*Bonakdarzadeh, Mona, Dipl.-Chem.:*

Modelluntersuchungen zur Bestimmung der Resorptionsverfügbarkeit von Schwermetallen mit Hilfe synthetischer Verdauungssäfte.

*Schütz, Michael, Dipl.-Ing.:*

Oberflächenbehandlung und Fügen von Magnesiumlegierungen mit Lasertechnik.

*Bauer, Stefan, Dipl.-Ing.:*

Optimierung der schweißtechnischen Verarbeitung ausscheidungshärtbarer Eisen- und Nickel-Basis-Legierungen.

*Helmich, Armin, Dipl.-Ing.:*

Untersuchungen zum wärmearmen Fügen von Feinblech mit Kupferbasis-Loten.

*Wende, Ulrich, Dipl.-Ing.:*

Untersuchungen zum Auftragschweißen mit ausscheidungshärtbaren Nickelbasis-Superlegierungen.

*Smolenski, Christian, Dipl.-Ing.:*

Ein elektrischer Sensor zur Messung der Rußkonzentration im Abgas von Dieselmotoren.

*Mauch, Heiko, Dipl.-Ing.:*

Verbesserung der Güte von Nachfahrversuchen mit Hydrolagern durch Betrachtung des zeitvarianten Übertragungsverhaltens.

*Bauer, Ulrich, Dipl.-Ing.:*

Zur trennscharfen Feinstsichtung in Fliehkraft-Abweiseradsichtern.

*Turschner, Dirk, Dipl.-Ing.:*

Selbsteinstellende kaskadierte Zustandsregelung mit evolutionären Algorithmen für mechatronische Antriebssysteme mit Lose.

*M'Buy, Mankay, Dipl.-Ing.:*

Management elektrischer Energieversorgung bei Einsatz eines Mix von Primärenergieträgern.

*Feng, Xue, Dipl.-Ing.:*

Nutzung Evolutionärer Strategien zur Optimierung des dynamischen Verhaltens von Laborzentrifugen.

*Tulbure, Adrian-Alexandru, Dipl.-Ing.:*

Netzgespeiste Asynchronmaschine mit elektronischer Käfigumschaltung zur aktiven Schwingungsdämpfung.

*Enk, Stefan, Dipl.-Ing.:*

Das Trainierbare Expertensystem zur Führung komplexer Prozesse.

*Mehmert, Patrick, Dipl.-Math.:*

Numerische Simulation des Metallschutzgasschweißens von Grobblechen aus un- und niedriglegiertem Feinkornbaustahl.

*Wiebking, Leif, Dipl.-Ing.:*

Entwicklung eines zentimetergenauen mehrdimensionalen Nahbereichs-Navigationssystems.